

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
19 décembre 2002 (19.12.2002)

PCT

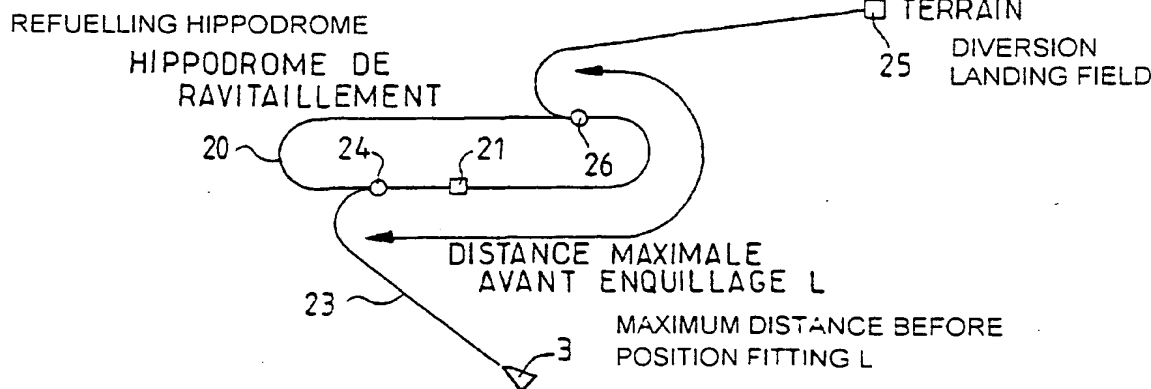
(10) Numéro de publication internationale
WO 02/101685 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : G08G 5/00, B64D 39/00 (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : THALES [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/01893 (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : SCHNEIDER, Catherine [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, Avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). MORIN, Dominique [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, Avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).
- (22) Date de dépôt international : 4 juin 2002 (04.06.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 01/07530 8 juin 2001 (08.06.2001) FR (74) Mandataires : BEYLOT, Jacques etc.; Thales Intellectual Property, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR MANAGING IN-FLIGHT REFUELLING OF A FLEET OF AIRCRAFT

(54) Titre : PROCEDE DE GESTION DU RAVITAILLEMENT EN VOL D'UNE FLOTILLE D'AERONEFS



(57) Abstract: In-flight refuelling of a fleet (1) of aircraft by a refuelling aircraft (2) through a refuelling boom requires that a queue is formed and that the number, one or possibly two, of passages for each aircraft at the refuelling boom is determined, thereby constituting a refuelling sequence. If the order of the queue is easy to establish, since it often corresponds to a classification in descending order of importance of the requests for fuel, the same is not true concerning the number of passages at the refuelling boom which has to be reduced to a minimum while observing the fuel states of the aircraft to be refuelled before starting their own refuelling. The inventive method, which can be implemented by a calculator, enables to computerize the search for a refuelling sequence fulfilling the requirements of the fuel state of various aircraft being refuelled while reducing to a minimum the number of passages of the aircraft at the refuelling boom.

(57) Abrégé : Le ravitaillement en vol d'une flotille (1) d'aéronefs par un aéronef ravitailleur (2) au moyen d'une même perche de ravitaillement nécessite la constitution d'une file d'attente et la détermination du nombre de passages, un ou éventuellement deux, de chaque aéronef à la perche de ravitaillement, ce qui constitue une séquence de ravitaillement. Si l'ordre de la file d'attente est simple à établir, puisqu'il correspond souvent à un classement par importances décroissantes des demandes en carburant, il n'en va pas de même du nombre de passages à la perche de ravitaillement qui doit être minimum tout en respectant les autonomies présentées par les aéronefs à ravitailler avant que ne débutent leurs propres ravitaillements. Le procédé décrit, qui peut

[Suite sur la page suivante]

WO 02/101685 A1



(81) État désigné (*national*) : US.

(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

PROCEDE DE GESTION DU RAVITAILLEMENT EN VOL D'UNE FLOTTILLE D'AERONEFS

La présente invention concerne le ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs et plus précisément la détermination de la séquence de ravitaillement la mieux adaptée à la situation du moment.

Le contexte stratégique actuel amène de plus en plus souvent les
5 flottilles d'aéronefs à intervenir loin de leur base ou pour des missions de durée relativement importante nécessitant un ou plusieurs ravitaillements en vol. Un ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs nécessite l'organisation d'un rendez-vous entre la flottille d'aéronefs à ravitailler et l'aéronef ravitailleur et la détermination d'une séquence de ravitaillement, lorsque les
10 aéronefs à ravitailler sont plus nombreux que les perches de ravitaillement dont dispose l'aéronef ravitailleur.

Pour son ravitaillement effectif, un aéronef doit approcher de très près, sur l'arrière, l'aéronef ravitailleur, pénétrer dans son sillage au point d'en subir les turbulences, se saisir d'une perche de ravitaillement et y rester
15 accroché le temps du transfert de la quantité de carburant voulue tout en continuant à subir les turbulences de l'aéronef ravitailleur qui rendent le pilotage délicat et qui font qu'un ravitaillement en cours peut être interrompu prématurément à tout instant.

La détermination d'une séquence de ravitaillement, lorsque les
20 aéronefs d'une flottille doivent se ravitailler l'un à la suite de l'autre à une même perche de ravitaillement, pose les problèmes de l'ordre de présentation des aéronefs à la perche de ravitaillement et du nombre de passages à la perche de ravitaillement de chaque aéronef de la flottille pour avoir la quantité de carburant désirée. Ces problèmes doivent être résolus de
25 manière à optimiser, à tout instant, l'opération de ravitaillement en vol, c'est-à-dire à faire en sorte que la capacité opérationnelle de la flottille soit maximale si l'opération de ravitaillement en vol doit être interrompue prématurément pour une raison quelconque, et à minimiser le nombre de passages des aéronefs à la perche de ravitaillement puisque chaque
30 passage est une opération délicate et coûteuse en temps de manœuvre.

L'optimisation, à tout instant, d'une opération de ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs, à partir d'une même perche de ravitaillement, se

fait, en règle générale, en organisant une file d'attente ordonnée selon des besoins en pétrole décroissants. En effet, une flottille d'aéronefs est en générale constituée d'aéronefs de caractéristiques comparables ayant des réserves et des consommations de carburant du même ordre de sorte que
5 les autonomies des aéronefs qui la composent, sont, la plupart du temps, sont inversement proportionnelles à leurs demandes en carburant.

Il est préférable de ravitailler un aéronef en un seul passage à la perche de ravitaillement mais cela n'est pas toujours possible car il faut tenir compte des autonomies des autres aéronefs de la flottille. En effet, pour une
10 meilleure efficacité du ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs, il y a intérêt à prévoir le point de rendez-vous de la flottille d'aéronefs avec l'aéronef ravitailleur le plus tard possible, en cherchant à approcher, sans les entamer, les réserves de carburant de sécurité des aéronefs ravitaillés, réserves qui doivent leur permettre, en toutes circonstances, d'atteindre un
15 terrain de déroutement dans des conditions de sécurité acceptables. Or, il peut arriver, en fonction des conditions opérationnelles, que le rendez-vous de ravitaillement en vol soit plus tardif que prévu et que certains aéronefs de la flottille ne puissent plus attendre, pour être ravitaillés, le temps nécessaire aux ravitaillements en un seul passage, des aéronefs qui les précèdent dans
20 la file d'attente de ravitaillement. Deux solutions se présentent alors, soit dérouter les aéronefs qui ne peuvent plus attendre vers un terrain de déroutement sans procéder à leur ravitaillement en vol mais la flottille est désorganisée et sa mission souvent compromise, soit abréger les ravitaillements des aéronefs précédant un aéronef qui ne peut pas attendre
25 son tour pour essayer de parvenir à ce qu'il soit ravitaillé dans les temps, avant d'entamer sa réserve de sécurité. A la condition que les aéronefs dont le ravitaillement a été abrégé aient reçu une quantité suffisante de carburant pour leur permettre d'attendre, ils peuvent compléter leur ravitaillement par un nouveau passage à la perche de ravitaillement en se replaçant en fin de
30 la file d'attente.

Pour un ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs à partir une même perche de ravitaillement d'un aéronef ravitailleur, il faut donc prévoir, en plus du point de rendez-vous avec l'aéronef ravitailleur, l'ordre des aéronefs à ravitailler dans la file d'attente de ravitaillement, le nombre de
35 passages des aéronefs à la perche de ravitaillement, préférablement un mais

possiblement deux, et les quantités de carburant délivrées aux différents passages. Cela conduit à un nombre important de possibilités pour le ravitaillement en vol d'une flottille, surtout dès qu'elle renferme trois ou quatre aéronefs.

5 Actuellement, l'organisation d'un ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs est sous la responsabilité d'un chef de ravitaillement placé à bord de l'aéronef ravitailleur, qui décide du déroulement d'un ravitaillement, ordre des aéronefs à ravitaillés dans la file d'attente de ravitaillement, nombre de passage à la perche de ravitaillement et quantités de carburant délivrées à
10 chaque passage, en fonction des desiderata du chef de la flottille et de son expérience personnelle. Il a la plus grande difficulté à trouver la solution la plus optimale pour la poursuite de la mission de la flottille, à chaque fois que les délais sont tendus par rapport aux réserves de sécurité d'un ou plusieurs aéronefs de la flottille. De plus, cela se traduit, pour un pilote ravitaillé et
15 également pour le chef de la flottille par la nécessité d'assumer, au cours d'une phase de ravitaillement, une tâche de surveillance et de planification en sus d'un pilotage déjà délicat.

Il importe donc de faciliter l'organisation des ravitaillements en vol d'une flottille d'aéronefs qu'elle soit en mission sur zone ou en convoi.

20 La présente invention a pour but un procédé de gestion du ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs qui soit automatisable, c'est-à-dire susceptible d'être mis en œuvre par un calculateur, et qui permette d'élaborer une proposition de séquence optimale de ravitaillement, s'il en existe, minimisant le nombre de passages, c'est-à-dire d'opérations
25 d'accrochage à la perche de ravitaillement de l'aéronef ravitailleur aussi bien du point de vue global de la flottille que du point de vue de chacun des aéronefs qui la compose tout en assurant aux aéronefs de la flottille la disposition, en fin de l'opération de ravitaillement, des quantités de carburant demandées, cela à partir de la connaissance du point de rendez-vous de
30 ravitaillement, du nombre d'aéronefs de la flottille, des quantités de carburant désirées par les aéronefs de la flottille en fin de ravitaillement et des distances, par rapport au point de rendez-vous de ravitaillement, sur la route suivie par l'aéronef ravitailleur, des points limites atteignables par les différents aéronefs de la flottille sans ravitaillement et sans qu'ils puisent
35 dans leurs réserves de sécurité de carburant.

Elle a également pour but un procédé de gestion du type précité, permettant d'élaborer une séquence de ravitaillement telle qu'au cours de son déroulement, la capacité opérationnelle de la flottille soit portée au maximum possible tout au long des opérations de ravitaillement.

5 Elle a pour objet un procédé de gestion du ravitaillement en vol d'une flottille de n aéronefs A_1, \dots, A_n à partir d'une même perche de ravitaillement d'un aéronef ravitailleur permettant élaboration d'une séquence de ravitaillement à partir de la prise en compte d'un point de rendez-vous de ravitaillement P , du nombre n d'aéronefs de la flottille, des quantités de
10 carburant Q_1, \dots, Q_n désirées par les aéronefs A_1, \dots, A_n de la flottille en fin de ravitaillement et des distances maxima L_1, \dots, L_n franchissables par chaque aéronef de la flottille dans l'attente d'un début de ravitaillement, ces distances maxima L_1, \dots, L_n correspondant aux distances séparant le point de rendez-vous de ravitaillement P , sur la route suivie par l'aéronef
15 ravitailleur, des points limites atteignables par les différents aéronefs de la flottille sans ravitaillement et sans qu'ils puisent dans leurs réserves de sécurité de carburant. Ce procédé est remarquable en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 20 - prise en compte initiale d'une séquence arbitraire de ravitaillement définie par une mise en file d'attente des aéronefs de la flottille selon un ordre arbitraire A_1, \dots, A_n et un unique passage de chaque aéronef de la flottille à la perche de ravitaillement,
- 25 - test de viabilité de la séquence de ravitaillement prise en compte consistant à exprimer, en distances D_1, \dots, D_n à parcourir par l'aéronef ravitailleur, les temps nécessaires pour délivrer aux aéronefs de la flottille les quantités de carburant prévues lors de leurs passages à la perche de ravitaillement et à vérifier, en descendant la file d'attente, que chaque aéronef A_n, \dots, A_1 entamera son ravitaillement dans les délais, c'est-à-dire avant
30 que l'aéronef ravitailleur n'ait parcouru une distance supérieure à la distance maximum franchissable L_n, \dots, L_1 par l'aéronef considéré,
- 35 - en l'absence de constat d'aéronef entamant son ravitaillement hors délai, admettre la viabilité de la séquence de ravitaillement testée et l'adopter,

- en présence d'un constat d'aéronef entamant son ravitaillement hors délai, modifier la séquence de ravitaillement testée pour écourter l'attente de cet aéronef et tenter de le faire se ravitailler dans les délais, la modification de la séquence consistant à fractionner en deux passages, le ou les ravitaillements d'un ou plusieurs aéronefs qui précèdent dans la file d'attente l'aéronef concerné, un premier passage écourté à la perche de ravitaillement permettant à un aéronef de recevoir une quantité minimum de carburant augmentant suffisamment son autonomie pour qu'il puisse se replacer en fin de la file d'attente et attendre un deuxième passage à la perche de ravitaillement sans puiser dans sa réserve de carburant de sécurité, le ou les aéronefs dont le ravitaillement est fractionné en deux étant choisis de manière à minimiser le nombre de passages à la perche de ravitaillement, le choix portant d'abord sur l'aéronef, s'il existe, qui est placé en amont dans la file d'attente et dont le fractionnement du ravitaillement en deux passages à la perche de ravitaillement permet d'approcher au mieux, par valeur supérieure, le gain de temps recherché, puis sur deux aéronefs, s'ils existent, placés en amont dans la file d'attente dont les fractionnements des ravitaillements permettent d'approcher au mieux, par valeur supérieure le gain de temps recherché et ainsi de suite, une absence de solution dans le choix des aéronefs à ravitaillement fractionné conduisant à un constat d'impossibilité de ravitaillement de la flottille complète, tandis qu'une présence de solution conduit à une proposition de séquence de ravitaillement modifiée, et
- prendre en compte toute proposition de séquence de ravitaillement modifiée et tester sa viabilité en repartant à la deuxième étape du procédé.

Avantageusement, en cas de test de viabilité négatif de la séquence de ravitaillement arbitraire prise en compte initialement, celle-ci est remplacée par une séquence de ravitaillement dite nominale définie par une mise en file d'attente des aéronefs de la flottille selon un ordre correspondant

à des quantités décroissantes de carburant demandées et par un unique passage de chaque aéronef de la flottille à la perche de ravitaillement, le premier aéronef de la file étant celui ayant demandé la quantité de carburant la plus importante.

5

Avantageusement, en cas de test de viabilité négatif de la séquence de ravitaillement arbitraire prise en compte initialement, celle-ci est remplacée par une séquence de ravitaillement définie par une mise en file d'attente des aéronefs de la flottille selon un ordre correspondant à des distances maxima franchissables L_1, L_2, \dots, L_n croissantes, le premier aéronef de la flottille étant celui pouvant franchir la distance maximum la plus faible.

10

Avantageusement, en cas d'un test négatif de viabilité d'une séquence de ravitaillement dû au constat d'un aéronef de la flottille entamant son ravitaillement hors délai, le choix du ou des aéronefs placés en amont dans la file d'attente dont le ravitaillement est fractionné, résulte d'essais virtuels systématiques pratiqués en remontant la file d'attente en prenant en compte un aéronef, puis deux dont celui procurant le gain de temps le plus important, puis trois dont les deux procurant le gain de temps le plus important et ainsi de suite.

15

20

Avantageusement, la durée du premier passage écourté à la perche de ravitaillement, d'un ravitaillement fractionné est fixée à une même valeur DMIN pour tous les aéronefs de la flottille, durée qui est progressivement augmentée, une fois que la séquence de ravitaillement considérée a satisfait au test de viabilité, jusqu'à parvenir en limite d'autonomie pour l'un des aéronefs de la flottille.

25

Avantageusement, le choix des aéronefs de la flottille dont le ravitaillement est fractionné résulte de la vérification du respect d'une succession de relations d'inégalité entre les distances de parcours D_1, \dots, D_n nécessaires à l'aéronef ravitailleur pour délivrer les quantités de carburant demandées au cours de chaque passage des aéronefs de la flottille à la perche de ravitaillement et les distances maxima franchissables par chaque aéronef de la flottille.

30

35

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- 5 - une figure 1 est un schéma illustrant les conditions opérationnelles d'une séquence de ravitaillement d'une flottille d'aéronefs en mission de surveillance,
- une figure 2 est un schéma montrant les différentes possibilités de
10 rejointe de l'aéronef ravitailleur par la flottille d'aéronefs à ravitailler en fonction du respect du point de rendez-vous,
- une figure 3 est un schéma illustrant le déroulement d'un ravitaillement sur axe (cas d'un vol de convoyage par exemple),
- une figure 4 est un schéma illustrant le problème posé par la limite d'autonomie d'un aéronef à ravitailler,
- 15 - une figure 5 est un tableau résumant les différentes séquences de ravitaillement proposées en fonction des divers problèmes d'autonomie qui peuvent se poser dans le cadre d'une flottille de deux aéronefs,
- une figure 6 est un tableau résumant les différentes séquences de
20 ravitaillement proposées en fonction des divers problèmes d'autonomie qui peuvent se poser dans le cadre d'une flottille de trois aéronefs, et
- des figures 7a et 7b sont des tableaux résumant les différentes
25 séquences de ravitaillements proposées en fonction des divers problèmes d'autonomie qui peuvent se poser dans le cadre d'une flottille de quatre aéronefs.

Pendant une mission de surveillance lointaine nécessitant un ou plusieurs ravitaillements en vol, une flottille 1 d'aéronefs suit, au-dessus de la
30 zone surveillée, un parcours 10 qui a été prédéfini en temps et en lieu au cours de la préparation de mission. Ce parcours souvent bouclé est représenté sur la figure 1 par un hippodrome 10 dit de surveillance. Les ravitaillements de la flottille 1 d'aéronefs sont assurés par un aéronef ravitailleur 2 évoluant dans une zone de sécurité aussi proche que possible
35 de la zone de surveillance.

Au cours des ravitaillements, les aéronefs de la flottille 1 doivent manœuvrer pour saisir une perche de ravitaillement traînée par l'aéronef ravitailleur 2 et y rester accrochés le temps du transfert du carburant. Ces manœuvres étant délicates, elles se font alors que les aéronefs volent en ligne droite. Pour ce faire, lorsque l'aéronef ravitailleur 2 décrit un parcours bouclé en vue de rester dans une zone de sécurité proche de la zone de surveillance, il décrit souvent une boucle aplatie 20 présentant deux branches rectilignes aller et retour, propices aux opérations de ravitaillement. Cette boucle aplatie 20 est également représentée sous forme d'un hippodrome.

Les positions en temps et en lieu de la flottille 1 d'aéronefs sur l'hippodrome de surveillance 10 et de celle de l'aéronef ravitailleur 2 sur l'hippodrome de ravitaillement 20 ayant été prévues lors de la préparation de la mission, il faut optimiser le point 11 et le moment où la flottille 1 d'aéronefs quitte l'hippodrome de surveillance 10 en direction de l'aéronef ravitailleur 2 pour que les aéronefs de la flottille 1 puissent rester un maximum de temps sur la zone de surveillance. Cette optimisation peut se faire, soit en fonction d'une heure convenue lors de la préparation de mission ou en cours de mission pour le rendez-vous avec l'aéronef ravitailleur 2, soit en fonction des autonomies des aéronefs de la flottille 1 qui déterminent le point limite au-delà duquel la flottille 1 doit arrêter sa mission de surveillance pour se ravitailler. Elle implique, outre la détermination du point 11 et du moment de départ de la flottille 1 d'aéronefs vers l'aéronef ravitailleur 2, les déterminations d'un point 21 et d'un moment de rendez-vous avec l'aéronef ravitailleur 2 sur l'hippodrome de ravitaillement 20, d'une trajectoire de rejointe 22, de terrains d'atterrissage de déroutement et de points et de trajectoires limites de déroutement pour chaque aéronef de la flottille tenant compte de leurs autonomies avant ravitaillement.

Du point de vue pratique, il peut y avoir un écart de temps sur le rendez-vous effectif dû soit à l'aéronef ravitailleur, soit à la flottille d'aéronefs ravitaillés de sorte que le rendez-vous peut se faire en avance, comme représenté en II sur la figure 2, ou en retard, comme représenté en III sur la figure 2, ce qui implique de réactualiser périodiquement le point et le moment du rendez-vous, la trajectoire de rejointe, les terrains d'atterrissage de

déroutement et les points et trajectoires limites de déroutement des différents aéronefs de la flottille.

5 Au cours d'un ravitaillement de la flottille 1 d'aéronef à une unique perche de ravitaillement, les aéronefs de la flottille 1 doivent constituer une file d'attente pour se saisir, chacun à leur tour de la perche de ravitaillement. La figure 3 montre le déroulement d'une procédure de ravitaillement au cours de laquelle l'aéronef ravitailleur 2 et la flottille 1 d'aéronefs volent en ligne, un premier aéronef de la flottille se saisissant de la perche de ravitaillement sur une durée DEB• 1 à FIN• 1, puis un deuxième aéronef de la flottille sur une
10 durée DEB• 2 à FIN• 2 et ainsi de suite, le convoi formé de la flottille 1 d'aéronefs et de l'aéronef ravitailleur 2 passant à proximité de différents terrains d'atterrissage de déroutement : terrain A, terrain B, terrain C, terrain D, etc.

15 Pour qu'une séquence de ravitaillement en vol d'une flottille 1 d'aéronefs soit viable, c'est-à-dire acceptable du point de vue de la sécurité des aéronefs ravitaillés, il faut qu'elle respecte les contraintes d'autonomie en carburant des aéronefs à ravitailler de la flottille 1, c'est-à-dire que les aéronefs à ravitailler entament tous leurs ravitaillements avant de puiser dans leurs réserves de carburant de sécurité destinées à les maintenir
20 toujours à portée d'un terrain d'atterrissage sur lequel ils puissent se dérouter en cas de problème.

Le respect, par une séquence de ravitaillement en vol, des contraintes d'autonomie en carburant des aéronefs ravitaillés peut être vérifié dès que le point et le moment du rendez-vous avec l'aéronef ravitailleur sont
25 connus avec suffisamment de précision. En effet, Il est alors, possible :

- de prévoir les quantités de carburant dont disposeront encore chacun des aéronefs de la flottille 1 lorsqu'ils arriveront au point de rendez-vous avec l'aéronef ravitailleur 2 à partir de la connaissance de leurs réserves réelles, de leurs consommations
30 et du parcours qu'ils ont encore à effectuer jusqu'au point de rendez-vous, et d'en déduire les longueurs maxima des trajets qu'ils seront capables de parcourir en compagnie de l'aéronef ravitailleur 2 avant de puiser dans leurs réserves de sécurité,
- de prévoir les délais d'attente de ravitaillement subis par chaque
35 aéronef de la flottille depuis le début du rendez-vous à partir de la

5 connaissance de l'ordre des aéronefs dans la file d'attente de ravitaillement et de leurs durées de passage à la perche de ravitaillement exprimées en tenant compte des durées des manœuvres d'accrochage et de décrochage à la perche de ravitaillement et des durées de transfert des quantités de carburant demandées,

- de traduire les délais d'attente de ravitaillement estimés en distances parcourues, et
- 10 - de vérifier que les délais d'attente de ravitaillement que les aéronefs de la flottille 1 devront subir, exprimés en distances parcourues, sont inférieurs aux longueurs maxima qu'ils sont capables de parcourir.

La figure 4 illustre le problème posé par le respect de la contrainte
15 d'autonomie en carburant d'un aéronef ravitaillé. L'aéronef à ravitailler 3 suit une trajectoire 23 de rejointe de l'aéronef ravitailleur en attente sur l'hippodrome de ravitaillement 20 pour un rendez-vous 24 légèrement en avance sur le rendez-vous prévu 21. Dans sa position actuelle, il dispose d'une réserve réelle de carburant qui permet d'estimer, à partir de la
20 connaissance de sa consommation et de la trajectoire suivie, la quantité de carburant dont il disposera encore à son arrivée au point de rendez-vous effectif 24. Une fois parvenu au point de rendez-vous 24, il volera en convoi avec l'avion ravitailleur le long de l'hippodrome de ravitaillement jusqu'à ce que l'opération de ravitaillement en vol soit terminée pour toute la flottille dont
25 il fait partie. Au cours de la première partie de vol en convoi où l'aéronef à ravitailler est en attente d'un début de ravitaillement, sa réserve de carburant ne doit pas descendre en dessous d'un volume de sécurité correspondant à ce qui lui est nécessaire pour atteindre un terrain d'atterrissage de déroutement, ici le terrain 25. Il y a donc une distance maximum que peut
30 parcourir l'aéronef 3 au cours de son vol en convoi avec l'aéronef ravitailleur, en attente de son ravitaillement. Il est possible d'estimer le point limite 26 dit point loto, que peut atteindre l'aéronef 3 sur l'hippodrome de ravitaillement 20 sans être ravitaillé ni entamer sa réserve de carburant de sécurité puisque sa réserve réelle de carburant est connue, de même que la trajectoire qu'il va
35 parcourir, la façon dont il va le faire, et la position du ou des terrains

d'atterrissage 25 de déroutement. La distance séparant ce point loto 25 sur l'hippodrome de ravitaillement 20, du point de rendez-vous effectif 24 avec l'aéronef ravitailleur est la distance maximale L que peut parcourir l'aéronef 3, en convoi avec l'aéronef ravitailleur alors qu'il est en attente de ravitaillement. Le temps de parcours de cette distance correspond au temps d'attente maximum que peut se permettre l'aéronef à ravitailler 3.

La viabilité d'une séquence de ravitaillement d'une flottille d'aéronefs est une propriété importante puisque son absence entraîne la rupture de la formation de la flottille d'aéronef et souvent l'abandon de la poursuite de la mission. Elle est donc à vérifier avant l'adoption d'une proposition de séquence de ravitaillement en vol. Il faut en outre, que la séquence de ravitaillement en vol proposée soit optimale, c'est-à-dire minimise le nombre de passages à la perche de ravitaillement, les manœuvres d'accrochage étant des opérations délicates, et maintienne la capacité opérationnelle de la flottille à son maximum au cours de son déroulement.

Pour minimiser le nombre de passages à la perche de ravitaillement, on recherche à ravitailler les aéronefs de la flottille en un seul passage à la perche de ravitaillement, sauf impossibilité d'attente pour manque d'autonomie, d'un ou plusieurs aéronefs, auquel cas on s'autorise jusqu'à deux passages à la perche de ravitaillement par aéronef ravitaillé.

Pour maintenir à son maximum la capacité opérationnelle de la flottille d'aéronefs ravitaillés, on cherche la séquence de ravitaillement en vol correspondant le plus possible à la délivrance de quantités décroissantes de carburant au cours des passages successifs des aéronefs ravitaillés à la perche de ravitaillement, les passages à la perche de ravitaillement étant d'autant plus rentables que la quantité de carburant transférée est importante.

L'optimisation d'une séquence de ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs consiste à déterminer un ordre optimum de la file d'attente selon lequel les aéronefs doivent se présenter à la perche de ravitaillement, en supposant que chacun d'eux effectue au plus deux passages, le deuxième passage intervenant après tous les premiers passages, par une réintégration de la queue de la file d'attente, puis à déterminer les durées des passages en faisant en sorte d'annuler le plus possible de deuxièmes

passages tout en respectant les contraintes sur les délais d'attente imposées par les autonomies des aéronefs à ravitailler.

Soit n le nombre d'aéronefs de la flottille, 1, 2, ..., n l'ordre adopté pour la file d'attente à la perche de ravitaillement, qui est de préférence l'ordre par quantités décroissantes de carburant à transférer puisqu'une flottille est souvent constituée d'aéronefs ayant des niveaux de consommation très proches et que les aéronefs ayant le moins d'autonomie sont ceux qui réclament le plus de carburant, $D11+D12$ la distance parcourue par l'aéronef ravitailleur, le temps de transférer en deux passages la quantité de carburant réclamée par le premier aéronef de la file d'attente, $D21+D22$ la distance parcourue par l'aéronef ravitailleur, le temps de transférer en deux passages la quantité de carburant réclamée par le deuxième aéronef de la file d'attente et ainsi de suite, $Dn1+Dn2$ étant la distance parcourue par l'aéronef ravitailleur, le temps de transférer en deux passages la quantité de carburant réclamée par le dernier aéronef de la file d'attente, $L1, L2, \dots, Ln$ les distances séparant du point de rendez-vous les différents points loto des aéronefs de la flottille, le respect des contraintes en carburant des aéronefs de la flottille se traduit par la condition :

$$L(i+1) \geq \sum_{j=1}^i D_{j1}$$

La minimisation du nombre de passages à la perche de ravitaillement revient à annuler le plus possible de deuxième passages tout en veillant au respect de la condition précédente.

L'optimisation de la séquence de ravitaillement impose la fixation d'une durée minimum $DMIN$ à un premier passage suffisant pour le transfert d'une quantité de carburant augmentant assez l'autonomie de l'aéronef ravitaillé pour qu'il puisse se replacer en fin de file d'attente et attendre le complément de son ravitaillement sans entamer sa réserve de carburant de secours, puis l'augmentation des durées des premiers passages jusqu'aux maxima rendus possibles par les capacités d'attente des aéronefs placés derrière dans la file d'attente.

On propose ci-après un procédé de gestion de ravitaillement en vol d'une flottille d'aéronefs permettant de parvenir à la détermination d'une séquence optimale de ravitaillement tenant compte des autonomies des aéronefs d'une flottille, en se basant sur le point de rendez-vous de la flottille

d'aéronefs avec l'aéronef ravitailleur, les quantités de carburant réclamées, les distances séparant, du point de rendez-vous, les différents points loto des aéronefs à ravitailler et une durée minimum pour un passage à la perche de ravitaillement.

- 5 Au cours d'une première étape, on prend en compte une séquence arbitraire de ravitaillement basée sur une mise en file d'attente des aéronefs de la flottille selon un ordre A_1, A_2, \dots, A_n proposé par exemple, par le chef de flottille, et sur un unique passage de chaque aéronef de la flottille à la perche de ravitaillement, ces passages uniques nécessitant des distances
- 10 de parcours D_1, D_2, \dots, D_n et l'on s'assure de la viabilité de cette séquence de ravitaillement arbitraire, c'est-à-dire du respect des autonomies des aéronefs de la flottille, par la vérification de l'ensemble des conditions :

$$\sum_{i=1}^j D_i < L(j+1) \quad \text{avec} \quad 1 \leq j \leq n-1 \quad (1)$$

- 15 Si ces conditions sont respectées dans leur ensemble, la séquence arbitraire de ravitaillement est possible et le procédé de gestion de ravitaillement peut s'arrêter.

 Si l'une des conditions précédentes n'est pas respectée, la séquence arbitraire de ravitaillement est rejetée car elle pose un problème d'autonomie pour l'un au moins des aéronefs de la flottille.

- 20 En cas de rejet de la séquence arbitraire de ravitaillement, le procédé se poursuit par la détermination effective d'une séquence optimale de ravitaillement. Celle-ci consiste, en présence d'un constat d'aéronef entamant son ravitaillement hors du délai permis par son autonomie, à modifier la séquence de ravitaillement testée pour écourter l'attente de cet
- 25 aéronef et faire en sorte qu'il se ravitailler dans les délais. Cette modification consiste à fractionner en deux passages, le ou les ravitaillements d'un ou plusieurs aéronefs qui précèdent dans la file d'attente l'aéronef concerné, un premier passage écourté à la perche de ravitaillement permettant à un aéronef de recevoir une quantité minimum de carburant augmentant
- 30 suffisamment son autonomie pour qu'il puisse se replacer en fin de la file d'attente et attendre un deuxième passage à la perche de ravitaillement sans puiser dans sa réserve de carburant de sécurité.

 Ce ou ces fractionnements doivent être efficaces, c'est-à-dire parvenir au but recherché du ravitaillement, dans les délais, de l'aéronef

posant un problème d'autonomie tout en imposant un minimum de manœuvres et en maintenant au maximum la capacité opérationnelle de la flottille tout au long du ravitaillement. Le nombre d'aéronefs dont le ravitaillement est fractionné en deux doit être minimum et les quantités de carburant délivrées au cours des premiers passages maxima.

Pour minimiser le nombre de passages à la perche de ravitaillement, les aéronefs posant un problème d'autonomie sont traités dans l'ordre de la file d'attente. Pour chaque aéronef repéré comme posant un problème d'autonomie, on cherche si un ou plusieurs fractionnements de ravitaillement d'aéronefs placés en amont dans la file d'attente permettraient d'éviter ce problème. Le choix pour un fractionnement de ravitaillement porte d'abord sur l'aéronef, s'il existe, qui est placé, dans la file d'attente, en amont de l'aéronef posant un problème d'autonomie et dont le fractionnement du ravitaillement en deux passages à la perche de ravitaillement permet d'approcher au mieux, par valeur supérieure, le gain de temps recherché, puis, si aucun ne permet le gain de temps escompté, sur deux aéronefs, s'ils existent, placés, dans la file d'attente, en amont de l'aéronef posant un problème d'autonomie, dont les fractionnements des ravitaillements permettent d'approcher au mieux, par valeur supérieure le gain de temps recherché et ainsi de suite, une absence de solution dans le choix des aéronefs à ravitaillement fractionné conduisant à un constat d'impossibilité de ravitaillement de la flottille complète, tandis qu'une présence de solution conduit à une proposition de séquence de ravitaillement modifiée dont la viabilité est testée avant d'être acceptée.

Lorsque la séquence arbitraire de ravitaillement proposée initialement se révèle non viable, on en profite, avant d'envisager un ou plusieurs fractionnements en deux passages des ravitaillements des aéronefs de la flottille, pour la remplacer par une séquence de ravitaillement dite nominale, toujours basée sur un seul passage par aéronef ravitaillé mais avec un ordre de file d'attente correspondant à des quantités décroissantes de carburant transférées, le premier servi étant celui ayant présenté la demande la plus importante, le deuxième une demande plus faible et ainsi de suite jusqu'au dernier. Cette séquence nominale de ravitaillement a en effet les meilleures chances de permettre un maintien de la flottille au

maximum de sa capacité opérationnelle pendant l'opération de ravitaillement dans la mesure où elle est constituée d'aéronefs aux performances comparables. Elle correspond à des distances D_1, D_2, \dots, D_n nécessaires au ravitaillement en un passage des aéronefs de la flottille formant une suite décroissante :

$$D_1 \geq D_2 \geq \dots \geq D_n$$

Si elle est différente de la séquence initiale de ravitaillement, la séquence nominale de ravitaillement est à son tour testée quant à sa viabilité. Si elle se révèle viable, l'ensemble des conditions (1) étant remplies, elle est adoptée et le processus de détermination de séquence de ravitaillement est arrêté. Si elle se révèle non viable, un ou plusieurs aéronefs de la flottille ayant des problèmes d'autonomie prévisibles au cours de l'opération de ravitaillement, on peut encore envisager, par acquis de conscience, une troisième séquence de ravitaillement encore basée sur un seul passage par aéronef ravitaillé mais avec un ordre de file d'attente correspondant à des distances maxima L_1, L_2, \dots, L_n franchissables par les différents aéronefs de la flottille au cours de ravitaillement formant une suite croissante :

$$L_1 \leq L_2 \leq \dots \leq L_n$$

Cette troisième séquence de ravitaillement basée sur un seul passage par aéronef ravitaillé est envisagée par acquis de conscience car elle correspond normalement à la séquence nominale de ravitaillement. Si elle est différente de la séquence nominale de ravitaillement, sa viabilité est testée. Si elle se révèle viable, le processus de détermination de séquence de ravitaillement est arrêté.

Lorsque les séquences précédentes de ravitaillement basées sur un seul passage par aéronef ravitaillé se sont toutes révélées non viables, on revient à la séquence nominale de ravitaillement que l'on cherche à rendre viable par fractionnement en deux passages du ravitaillement d'un ou plusieurs aéronefs de la flottille.

Avant d'envisager des fractionnements de ravitaillement, on vérifie qu'ils ont une chance de résoudre le ou les problèmes d'autonomie qui se présentent en testant si les aéronefs à ravitailler, placés en file d'attente,

dans l'ordre adopté, peuvent attendre, pour être ravitaillés la fin des premiers passages des aéronefs qui les précèdent, en admettant que ces premiers passages durent un minimum de temps correspondant à une distance minimum parcourue DMIN pour chaque premier passage à la perche de ravitaillement, ce qui revient à vérifier la satisfaction des conditions :

$$i \times DMIN \leq L(i+1) \text{ avec } 1 \leq i \leq n-1, \quad (2)$$

la distance minimum DMIN étant choisie en fonction des conditions opérationnelles, de façon à permettre un transfert d'une quantité minimum de carburant qui, à la fois, rentabilise un passage à la perche de ravitaillement, permette à l'aéronef ravitaillé de se replacer en fin de file d'attente et d'attendre un deuxième passage à la perche de ravitaillement sans avoir de problème d'autonomie.

En l'absence de satisfaction des conditions (2), le problème est considéré comme insoluble.

Lorsque les conditions (2) sont satisfaites, on opère en fonction du nombre d'aéronefs formant la flottille à ravitailler.

Cas d'une flottille de deux aéronefs

L'aéronef ayant un problème d'autonomie pendant le ravitaillement est nécessairement le deuxième. La solution consiste donc à fractionner le ravitaillement du premier aéronef, en deux passages correspondant à des distances de parcours D11, D12 tout en ravitaillant le deuxième aéronef en un seul passage correspondant à une distance de parcours D2 intercalée entre les distances de parcours D11 et D12 consacrées au ravitaillement du premier aéronef.

Lors du ravitaillement, le parcours en formation de l'aéronef ravitailleur et de la flottille est constitué de la succession D11, D2, D12. Pour le maintien de la flottille au maximum de sa capacité opérationnelle, le premier passage à la perche de ravitaillement du premier aéronef de la flottille est allongé au maximum permis par l'autonomie du deuxième aéronef de la flottille. Au lieu d'être réduit à la distance de parcours minimum DMIN, sa distance de parcours est prolongée pour atteindre la distance maximale de parcours L2 autorisée par l'autonomie du deuxième aéronef.

La séquence de ravitaillement adoptée est alors définie par le parcours :

D11, D2, D12

avec :

5 $D11=L2$ et $D12=D1-D11$

compte non tenu pour le deuxième terme des distances supplémentaires nécessitées par la deuxième manœuvre d'accrochage à la perche de ravitaillement.

10 La figure 5 est un graphique illustrant les différents cas qui peuvent se présenter lors du ravitaillement en vol, à une même perche de ravitaillement, d'une flottille de deux aéronefs, pour un ordre de ravitaillement 1, 2 donné, des quantités de carburants demandées par chacun des deux aéronefs de la flottille et de la quantité minimale de carburant transférable au cours d'un passage à la perche de ravitaillement, estimées en distance de
15 parcours D1, D2, DMIN nécessaires à l'aéronef ravitailleur pour leurs transferts, et de l'autonomie du deuxième aéronef de la flottille estimée en distance maximale franchissable L2.

Le graphique de la figure 5 montre un axe 30 gradué en distance avec pour variable la valeur de la distance maximale L2 franchissable par le deuxième aéronef de la flottille au cours de l'opération de ravitaillement, comptée de puis une origine O coïncidant avec le point de rendez-vous effectif de la flottille avec l'aéronef ravitailleur. Sur cet axe 30 gradué en distance sont repérées la distance minimum DMIN parcourue par l'aéronef ravitailleur au cours d'un premier passage d'un ravitaillement qui en
25 comporte deux et la distance D1 que doit parcourir l'aéronef ravitailleur pour transférer au premier aéronef toute la quantité de carburant qu'il demande en un seul passage.

Lorsque la distance maximale L2 que peut parcourir le deuxième aéronef en attendant d'être ravitaillé est supérieure à la distance nécessaire à l'aéronef ravitailleur pour ravitailler entièrement le premier aéronef, il n'est
30 pas nécessaire de fractionner le ravitaillement du premier aéronef. On se trouve dans la situation de la case 31. Pour cette situation, la séquence de ravitaillement adoptée est celle D1, D2 d'un ravitaillement à la suite, des deux aéronefs en un seul passage à la perche de ravitaillement.

Lorsque la distance maximale L_2 que peut parcourir le deuxième aéronef en attente d'être ravitaillé est inférieure à $DMIN$, la séquence de ravitaillement est impossible sans attenter à l'autonomie du deuxième aéronef. Elle doit être abandonnée ou tout au moins l'ordre de ravitaillement des deux aéronefs de la flottille inversé. Le cas correspond à la case 32 indexée par 0

Lorsque la distance maximale L_2 que peut parcourir le deuxième aéronef est comprise entre $DMIN$ et D_1 , le respect de l'autonomie du deuxième aéronef impose de fractionner en deux passages le ravitaillement du premier aéronef, Un premier passage D_{11} à la perche de ravitaillement, supérieur à $DMIN$ mais inférieur à L_2 et un deuxième passage à la perche de ravitaillement de complément D_{12} venant après le ravitaillement D_2 du deuxième aéronef. La situation correspond à la case 33. Pour cette situation, la séquence de ravitaillement adoptée est celle D_{11} , D_2 , D_{12} d'un ravitaillement composé d'un premier passage D_{11} d'attente du premier aéronef à la perche de ravitaillement, suivi d'un unique passage D_2 du deuxième aéronef à la perche de ravitaillement au cours duquel ce dernier reçoit toute la quantité de carburant demandée et du deuxième passage D_{12} de complément, du premier aéronef au cours duquel ce dernier reçoit le complément du carburant auquel il n'a pas eu droit lors de son premier passage.

Cas d'une flottille de trois aéronefs

Comme indiqué précédemment, deux vérifications ont déjà été menées, celle de l'existence d'un problème d'autonomie révélée par le fait que l'une au moins des conditions $D_1 < L_2$ et $D_1 + D_2 < L_3$ n'est pas remplie et celle de la possibilité de résoudre ce problème d'autonomie révélée par le fait que les conditions $DMIN < L_2$ et $2DMIN < L_3$ sont remplies.

Le problème d'autonomie peut concerner soit le deuxième aéronef, soit le troisième aéronef, soit les deuxième et troisième aéronefs de la flottille. Il faut donc le préciser.

On commence par vérifier si le problème d'autonomie concerne le seul deuxième aéronef de la flottille, en observant à nouveau la façon dont les conditions $D1 < L2$ et $D1 + D2 < L3$ sont remplies.

5 La condition $D1 < L2$ peut être la seule à ne pas être remplie. Le problème d'autonomie concerne le seul aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente. La condition $DMIN < L2$ étant vérifiée par hypothèse, un fractionnement en deux passages du ravitaillement du premier aéronef permet de résoudre le problème d'autonomie du deuxième aéronef. On
10 fractionne alors en deux passages le ravitaillement du premier aéronef :

$$D1 = D11 + D12$$

avec

D11=DMIN

Si la condition $DMIN < L2$ n'était pas satisfaite, il n'y aurait pas de
15 solution viable et aucune séquence de ravitaillement ne serait proposée.

La condition $D1+D2<L3$ peut être la seule à ne pas être remplie. Le problème d'autonomie concerne le seul aéronef placé en troisième position dans la file d'attente. La condition $2DMIN<L3$ étant vérifiée par hypothèse, ce problème d'autonomie est résoluble par un ou plusieurs fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en amont dans la file d'attente. On cherche tout d'abord à savoir si un fractionnement en deux passages du ravitaillement du deuxième aéronef pourrait suffire à résoudre le problème d'autonomie du troisième aéronef en vérifiant si la condition $D1+DMIN<L3$ est remplie.

Si la condition $D1 + DMIN < L3$ est remplie, un fractionnement en deux passages du ravitaillement du deuxième aéronef permet de résoudre le problème d'autonomie du troisième aéronef. On fractionne alors en deux passages le ravitaillement du deuxième aéronef :

30 D2=D21+D22

avec

D21=DMIN

Si la condition $D1+DMIN < L3$ n'est pas vérifiée, un fractionnement en deux passages, du ravitaillement du deuxième aéronef ne suffit pas à résoudre le problème d'autonomie du troisième. On cherche alors à savoir si

un fractionnement en deux passages, du ravitaillement du premier aéronef résoudrait ce problème d'autonomie en vérifiant si la condition $DMIN+D2 < L3$ est remplie.

Si la condition $DMIN+D2 < L3$ est remplie, un fractionnement en deux passages du ravitaillement du premier aéronef permet de résoudre le problème d'autonomie du troisième aéronef. On fractionne alors en deux passages le ravitaillement du premier aéronef :

$$D1 = D11 + D12$$

avec

$$D11 = DMIN$$

Si la condition $DMIN+D2 < L3$ n'est pas remplie, un fractionnement en deux passages, du ravitaillement du deuxième ou du premier aéronef ne permet pas de résoudre le problème d'autonomie du troisième aéronef. On est alors contraint à fractionner en deux passages les ravitaillements des premier et deuxième aéronefs :

$$D1 = D11 + D12$$

$$D2 = D21 + D22$$

avec

$$D11 = DMIN$$

$$D21 = DMIN$$

Si la condition $2DMIN < L3$ n'était pas remplie, il n'y aurait aucune solution viable et aucune séquence de ravitaillement ne serait proposée.

Les conditions $D1 < L2$ et $D1 + D2 < L3$ peuvent ne pas être remplies simultanément, montrant que des problèmes d'autonomie affectent à la fois les deux aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente de ravitaillement. Comme les conditions $DMIN < L2$ et $2DMIN < L3$ sont supposées remplies, des fractionnements en deux passages des ravitaillements des premier et deuxième aéronefs permettent de résoudre les problèmes d'autonomie des deuxième et troisième aéronefs de la flottille :

$$D1 = D11 + D12$$

$$D2 = D21 + D22$$

avec

$$D11 = DMIN$$

$$D21 = DMIN$$

Lorsqu'une solution de fractionnement permettant de résoudre les problèmes d'autonomie a été trouvée, elle est rendue optimale, du point de vue de la capacité opérationnelle de la flottille pendant le ravitaillement, en allongeant les durées du ou des premiers passages à la perche de ravitaillement jusqu'au maximum permis par le respect des autonomies des aéronefs de la flottille.

Dans le cas du seul fractionnement du ravitaillement du deuxième aéronef de la file d'attente de ravitaillement formée par la flottille, le premier passage D21 du deuxième aéronef de la flottille à la perche de ravitaillement est prolongé de DMIN à L3-D1. Ainsi, la séquence de ravitaillement proposée est alors :

$$D1, D21=L3-D1, D3, D22=D2-D21$$

Dans le cas du seul fractionnement du ravitaillement du premier aéronef de la file d'attente de ravitaillement formée par la flottille, le premier passage D11 du premier aéronef de la flottille à la perche de ravitaillement est prolongé de DMIN à min(L2, L3-D2). La séquence de ravitaillement proposée devient alors :

$$D11=\min(L2, L3-D2), D2, D3, D12=D1-D11$$

Dans le cas des fractionnements des ravitaillements des premier et deuxième aéronefs de la file d'attente formée par la flottille, les premiers passages D11 et D21 des premiers et deuxième aéronefs à la perche de ravitaillement sont prolongés par incréments successifs, de la valeur DMIN à une valeur limite permettant de respecter encore les conditions $D11 < L2$ et $D11+D21 < L3$. La séquence de ravitaillement proposée devient alors :

$$D11=DMIN+K, D21=DMIN+K, D3, D12=D1-D11, D22=D2-D21$$

K étant l'augmentation maximale de la distance DMIN permettant de respecter les conditions :

$$D11 < L2 \text{ et } D11+D21 < L3$$

30

La figure 6 est un tableau qui résume, dans le cas d'un ravitaillement d'une flottille de trois aéronefs, l'ensemble des solutions et absences de solution de fractionnement de ravitaillement permettant de rendre viable une séquence de ravitaillement, avec un minimum de passages à la perche de ravitaillement. Ce tableau est à deux dimensions, l'une ayant

35

pour variable l'autonomie L2 du deuxième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement et l'autre l'autonomie L3 du troisième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement. Il est tracé en fonction des valeurs des autonomies L2 et L3 des aéronefs de la flottille figurant en deuxième et
5 troisième position dans la file d'attente de ravitaillement, comparées aux valeurs des quantités de carburant D1, D2, D3 demandées par les trois aéronefs de la flottille et supposées être de valeurs décroissantes, et de la quantité minimale DMIN de carburant transférable au cours d'un passage à la perche de ravitaillement, les différentes variables étant exprimées en
10 distance de parcours effectuées par l'aéronef ravitailleur.

On voit, sur le tableau de la figure 6, qu'une même solution, de fractionnement peut convenir pour différentes valeurs des autonomies des aéronefs de la flottille placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente.

15 Deux seuls cas font l'objet d'une solution particulière.

Le premier cas indexé par 40 correspond à l'absence de tout fractionnement de ravitaillement, l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente de ravitaillement pouvant attendre la fin du ravitaillement du premier aéronef, la condition $D1 < L2$ étant vérifiée, et l'aéronef placé en fin de file
20 d'attente pouvant attendre les ravitaillements des deux premiers aéronefs, la condition $D1 + D2 < L3$ étant vérifiée.

Le deuxième cas indexé par 41 correspond au seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente, celui-ci n'ayant pas de problème d'autonomie, la condition $D1 < L2$
25 étant vérifiée, mais l'aéronef placé en troisième dans la file d'attente en ayant un, son autonomie L3 se situant dans la plage $D1 + DMIN < L3 < D1 + D2$.

Les autres cas se répartissent en trois catégories indexées par 42, 43, 44.

La catégorie 42 correspond au seul fractionnement du
30 ravitaillement du premier aéronef de la file d'attente qui se justifie, soit en cas d'un problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en deuxième dans la file d'attente tel que l'autonomie L2 de ce deuxième aéronef se situe dans la plage $DMIN < L2 < D1$, soit en cas de problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en troisième dans la file d'attente tel que l'autonomie L3 de ce
35 troisième aéronef se situe dans la plage $D2 + DMIN < L3 < D1 + DMIN$, soit

encore, en cas de problèmes d'autonomie des aéronefs placés en deuxième et en troisième dans la file d'attente tels que leurs autonomies $L2$ et $L3$ se situent dans les plages $DMIN < L2 < D1$ et $D2 + DMIN < L3 < D1 + D2$.

5 La catégorie 43 correspond au double fractionnement des ravitaillements des aéronefs placés en premier et en deuxième dans la file d'attente, lorsque l'aéronef placé en troisième dans la file d'attente a un problème d'autonomie tel que son autonomie $L3$ se situe dans la plage $2DMIN < L3 < D2 + DMIN$, l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente ayant ou non un problème d'autonomie.

10 La catégorie 44 correspond à tous les cas insolubles, l'un au moins des aéronefs placé en deuxième ou en troisième dans la file d'attente de ravitaillement ne pouvant attendre la durée minimum $DMIN$ d'un premier passage de ravitaillement du premier aéronef.

15 Le regroupement par catégories des solutions de fractionnement que le tableau de la figure 6 fait apparaître, rend possible une méthode de recherche accélérée de la solution de fractionnement ou non des ravitaillements d'une flottille de trois aéronefs permettant de résoudre d'éventuels problèmes d'autonomie avec un minimum de passages à la
20 perche de ravitaillement. Cette méthode de recherche accélérée est déduite de la méthode générale précédemment décrite et fait appel à une technique de sélection, par éliminations successives, de la solution la plus adaptée.

Cette recherche accélérée commence par le test du premier cas singulier 40 où un fractionnement n'est pas nécessaire. Ce cas 40 d'absence
25 de fractionnement de ravitaillement déjà envisagé au début de la méthode générale décrite précédemment, est retenu et la recherche arrêtée lorsque les aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente de ravitaillement peuvent attendre leur tour, c'est-à-dire lorsque les conditions : $D1 < L2$, $D1 + D2 < L3$ sont remplies. Autrement, il est rejeté et la
30 recherche est poursuivie.

Lorsque le cas 40 d'absence de fractionnement de ravitaillement a été rejeté par suite de problèmes d'autonomie, l'une au moins des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + D2 < L3$ n'étant pas satisfaite, on vérifie que le ou les problèmes d'autonomie sont résolubles par des fractionnements de

ravitaillement en deux passages. Cette vérification se fait en observant la satisfaction des conditions $DMIN < L2$ et $2DMIN < L3$.

Si l'une des conditions $DMIN < L2$ ou $2DMIN < L3$ n'est pas satisfaite, les fractionnements de ravitaillement ne permettent pas de résoudre les problèmes d'autonomie. On se trouve dans les situations de la catégorie 44 et on ne peut que signaler une impossibilité du ravitaillement.

Si les deux conditions $DMIN < L2$ et $2DMIN < L3$ sont satisfaites, on poursuit la recherche par l'observation du deuxième cas singulier 41 correspondant au seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente. Ce deuxième cas singulier 41 est retenu et la recherche arrêtée en cas de respects simultanés des conditions $D1 < L2$ et $D1 + DMIN < L3$. Si non il est rejeté à son tour et la recherche est poursuivie.

Lorsque les deux cas singuliers 40 et 41 ont été éliminés la catégorie 42 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie ne nécessitant que le seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en premier dans la file d'attente est envisagé. Compte tenu de l'élimination des deux cas singuliers 40 et 41, la seule condition à vérifier pour la sélection de cette catégorie 42 est la condition $D2 + DMIN < L3$. Si cette condition est vérifiée, la catégorie 42 correspondant au seul fractionnement du ravitaillement du deuxième aéronef de la file d'attente est retenue et la recherche arrêtée. Si non la catégorie 42 est rejetée à son tour et la recherche poursuivie.

Lorsque les deux cas singuliers 40 et 41 ainsi que la catégorie 42 ont été éliminés, la catégorie 43 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par les fractionnements des ravitaillements des premier et deuxième aéronefs de la file d'attente qui est la seule restante, est retenue et la recherche arrêtée.

Comme précédemment, lorsqu'un ou deux fractionnements de ravitaillement ont été retenus (cas singulier 41 et catégories 42 et 43), les durées des premiers passages à la perche de ravitaillement sont maximisées, ce qui implique que, pour le cas singulier 41 d'un unique fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente, le premier passage $D21$ est allongé de $DMIN$ à $L3 - D1$, que, pour la catégorie 42 correspondant à un unique fractionnement du ravitaillement de

l'aéronef placé en premier dans la file d'attente, le premier passage D11 est allongé de DMIN à $\min(L2, L3-D2)$ et que, pour la catégorie 43 correspondant aux fractionnements des ravitaillements des aéronefs placés en premier et en deuxième dans la file d'attente, les durées des premiers passages D11 et D21 sont prolongées de DMIN à la valeur maximale permettant de respecter les conditions d'autonomie, à savoir $D11 < L2$ et $D11 + D21 < L3$.

10 Cas d'une flottille de quatre aéronefs

La méthode générale de recherche d'une séquence de ravitaillement respectant les autonomies des aéronefs de la flottille et minimisant les passages à la perche de ravitaillement décrite précédemment et dont l'application à une flottille de trois aéronefs vient d'être détaillée s'étend sans difficulté à une flottille de quatre aéronefs. Elle conduit à un ensemble de solutions et d'absences de solutions qui peut être résumé dans un tableau à trois dimensions, une première dimension selon l'autonomie L2 du deuxième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement, une deuxième dimension selon l'autonomie L3 du troisième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement et une troisième dimension selon l'autonomie L4 du quatrième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement. Ce tableau à trois dimensions peut faire l'objet d'une représentation plane en le projetant selon un de ses axes. Il est illustré par les figures 7a et 7b qui résultent d'une projection par rapport à l'axe de sa première dimension L2 et qui sont consacrées au cas où les aéronefs à ravitailler sont placés dans un ordre de file d'attente de ravitaillement correspondant à des quantités de carburant demandées de valeurs décroissantes.

Plus précisément, le tableau plan de la figure 7a rassemble les solutions adaptées aux situations dans lesquelles l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente de ravitaillement n'a pas de problème d'autonomie, la condition $D1 < L2$ étant respectée, tandis que le tableau plan de la figure 7b rassemble les solutions adaptées aux situations dans lesquelles l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente de ravitaillement a un problème d'autonomie résoluble par un fractionnement du

premier aéronef de la file, les conditions $DMIN < L2 < D1$ étant respectées. En toute rigueur, d'autres situations peuvent se produire mais elles correspondent toutes à l'hypothèse où le deuxième aéronef dans la file d'attente de ravitaillement à un problème d'autonomie tel qu'il ne peut
5 attendre la fin d'un premier passage à la perche de ravitaillement du premier aéronef de la file. Il n'y a alors pas de solutions, ce qui se traduit par un tableau plan qui ne comporte que la seule catégorie des cas insolubles et dont la représentation n'apporte aucune information particulière.

Comme précédemment pour le tableau de la figure 6, les tableaux
10 des figures 7a et 7b montrent qu'une même solution, de fractionnement peut convenir pour différentes valeurs des autonomies des aéronefs de la flottille placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente.

Deux seuls cas font l'objet d'une solution particulière.

15 Le premier cas indexé par 50 sur la figure 7a correspond à l'absence de tout fractionnement de ravitaillement, l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente de ravitaillement pouvant attendre la fin du ravitaillement du premier aéronef, la condition $D1 < L2$ étant vérifiée pour tout le tableau de la figure 7a, l'aéronef placé en troisième position dans
20 la file d'attente pouvant attendre les fins des ravitaillements des premier et deuxième aéronefs, la condition $D1 + D2 < L3$ étant vérifiée et l'aéronef placé en fin de file d'attente pouvant attendre les ravitaillements des trois premiers aéronefs, la condition $D1 + D2 + D3 < L4$ étant vérifiée.

Le deuxième cas indexé par 51 sur la figure 7a correspond au
25 seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente, celui-ci, ni ceux qui le précèdent dans la file d'attente, n'ayant de problème d'autonomie, la condition $D1 < L2$ étant vérifiée pour tout le tableau de la figure 7a et la condition $D1 + D2 < L3$ étant aussi vérifiée dans ce cas, mais l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente ayant
30 un problème d'autonomie, son autonomie $L4$ se situant dans la plage $D1 + D2 + DMIN < L3 < D1 + D2 + D3$.

Les autres cas se répartissent en différentes catégories indexées par 52, 53, 54, 55, 56, 57 58, 60, 61, 62, 63, 64 et apparaissant soit dans la figure 7a, soit dans la figure 7b.

En commençant par la figure 7a, qui correspond aux situations de ravitaillement dans lesquels l'aéronef en deuxième position dans la file d'attente n'a jamais de problème d'autonomie, la condition $D1 < L2$ étant toujours remplie, on peut répertorier :

- 5 - une catégorie 52 correspondant au seul fractionnement du ravitaillement du deuxième aéronef de la file d'attente, qui se justifie, soit en cas de problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente tel que l'autonomie $L4$ de ce quatrième aéronef se situe dans la plage
10 $D3 + D1 + DMIN < L4 < D2 + D1 + DMIN$, soit en cas d'un problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en troisième position dans la file d'attente tel que l'autonomie $L3$ de ce troisième aéronef se situe dans la plage $D1 + DMIN < L3 < D1 + D2$, soit encore, en cas de problèmes d'autonomie des aéronefs placés en troisième et
15 quatrième positions dans la file d'attente tels que leurs autonomies $L3$ et $L4$ se situent dans les plages $D1 + DMIN < L3 < D1 + D2$ et $D3 + D1 + DMIN < L4 < D1 + D2 + D3$,
- une catégorie 53 correspondant au seul fractionnement du ravitaillement du premier aéronef de la file d'attente, qui se justifie, soit en cas de problème d'autonomie pour le seul aéronef
20 placé en quatrième position dans la file d'attente tel que l'autonomie $L4$ de ce quatrième aéronef se situe dans la plage $D3 + D2 + DMIN < L4 < D3 + D1 + DMIN$, soit en cas d'un problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en troisième position dans
25 la file d'attente tel que l'autonomie $L3$ de ce troisième aéronef se situe dans la plage $D2 + DMIN < L3 < D1 + DMIN$, soit encore, en cas de problèmes d'autonomie des aéronefs placés en troisième et quatrième positions dans la file d'attente tels que leurs autonomies $L3$ et $L4$ se situent dans les plages
30 $D2 + DMIN < L3 < D1 + D2$ et $D3 + D2 + DMIN < L4 < D3 + D1 + DMIN$ ou dans les plages $D2 + DMIN < L3 < D1 + DMIN$ et $D3 + D2 + DMIN < L4 < D1 + D2 + D3$,
- une catégorie 54 correspondant au double fractionnement des ravitaillements des aéronefs placés en deuxième et troisième
35 positions dans la file d'attente, lorsque l'aéronef placé en

- quatrième dans la file d'attente a un problème d'autonomie tel que son autonomie L_4 se situe dans la plage $D1+2DMIN < L_4 < D3+D2+DMIN$, que l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente a une autonomie L_3 restant supérieure à $D1+DMIN$ et que l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente n'a pas de problème d'autonomie,
- 5
- une catégorie 55 correspondant au double fractionnement des ravitaillements des aéronefs placés en premier et en troisième positions dans la file d'attente, soit en cas d'un problème
 - 10 d'autonomie pour le seul aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente tel que son autonomie L_4 se situe dans la plage $D2+2DMIN < L_4 < D1+2DMIN$, soit en cas de problèmes d'autonomie des aéronefs placés en troisième et quatrième positions dans la file d'attente tels que leurs autonomies L_3 et L_4
 - 15 se situent dans les plages $D2+2DMIN < L_4 < D1+2DMIN$ et $D2+DMIN < L_3 < D1+D2$ ou dans les plages $D2+2DMIN < L_4 < D3+D2+DMIN$ et $D2+DMIN < L_3 < D1+DMIN$,
 - une catégorie 56 correspondant aux fractionnements des ravitaillements des premier et deuxième aéronefs de la file
 - 20 d'attente qui se justifie, soit en cas de problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente tel que l'autonomie L_4 de ce quatrième aéronef se situe dans la plage $D3+2DMIN < L_4 < D2+2DMIN$, soit en cas d'un problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en troisième position dans
 - 25 la file d'attente tel que l'autonomie L_3 de ce troisième aéronef se situe dans la plage $2DMIN < L_3 < D2+DMIN$, soit encore, en cas de problèmes d'autonomie des aéronefs placés en troisième et quatrième positions dans la file d'attente tels que leurs autonomies L_3 et L_4 se situent dans les plages
 - 30 $2DMIN < L_3 < D1+D2$ et $D3+2DMIN < L_4 < D2+2DMIN$ ou dans les plages $2DMIN < L_3 < D2+DMIN$ et $D3+2DMIN < L_4 < D1+D2+D3$,
 - une catégorie 57 correspondant aux fractionnements des ravitaillements des premier, deuxième et troisième aéronefs de la
 - file d'attente lorsque l'aéronef placé en quatrième position dans la
 - 35 file d'attente de ravitaillement a un problème d'autonomie tel que

son autonomie $L4$ se situe dans la plage $3DMIN < L4 < D3 + 2DMIN$,
et

- une catégorie 58 qui correspond à des cas insolubles, l'un au moins des aéronefs placé en troisième ou en quatrième position dans la file d'attente de ravitaillement ne pouvant attendre la durée des premiers passages de ravitaillement des aéronefs qui les précèdent dans la file d'attente.

En poursuivant par la figure 7b qui correspond aux situations de ravitaillement dans lesquelles l'aéronef en deuxième position dans la file d'attente a un problème d'autonomie résoluble par un fractionnement du ravitaillement du premier aéronef de la file d'attente, on peut encore répertorier :

- une catégorie 60 qui correspond au seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef en première position dans la file d'attente, soit en cas de problème d'autonomie pour le seul aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente qui, pour toutes les situations du tableau de la figure 7b, a une autonomie $L2$ située dans la plage $DMIN < L2 < D1$, soit en cas d'un double problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie $L2$ est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$ et celui de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente lorsque son autonomie $L3$ se situe dans la plage $D2 + DMIN < L3 < D1 + D2$ ou celui de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente dont l'autonomie $L2$ est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$ et celui de l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente lorsque son autonomie $L4$ se situe dans la plage $D3 + D2 + DMIN < L4 < D1 + D2 + D3$, soit encore en cas d'un triple problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente dont l'autonomie $L2$ est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$, celui de l'aéronef placé en troisième dans la file d'attente lorsque son autonomie $L3$ se situe dans la plage $D2 + DMIN < L3 < D1 + D2$ et celui de l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente lorsque son autonomie $L4$ se situe dans la plage $D3 + D2 + DMIN < L4 < D1 + D2 + D3$,

- une catégorie 61 qui correspond aux fractionnements des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, en cas d'un double ou triple problème d'autonomie frappant l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie L2 est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$, l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente lorsque son autonomie L4 se situe dans la plage $D2 + 2DMIN < L4 < D3 + D2 + DMIN$, et éventuellement l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente à la condition que son autonomie L3 reste supérieure à $D2 + DMIN$,
- une catégorie 62 qui correspond aux fractionnements des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, soit en cas d'un double problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie L2 est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$ et celui de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente lorsque son autonomie L3 se situe dans la plage $2DMIN < L3 < D2 + DMIN$ ou celui de l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente lorsque son autonomie L4 se situe dans la plage $D3 + 2DMIN < L4 < D2 + 2DMIN$, soit en cas d'un triple problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie L2 est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$, et ceux des aéronefs placés en troisième et quatrième positions dans la file d'attente dont les autonomies L3 et L4 se situent dans les plages $2DMIN < L3 < D1 + D2$ et $D3 + 2DMIN < L4 < D2 + 2DMIN$ ou $2DMIN < L3 < D2 + DMIN$ et $D3 + 2DMIN < L4 < D1 + D2 + D3$,
- une catégorie 63 qui correspond aux fractionnements des ravitaillements des aéronefs placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente soit, en cas d'un double problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie L2 est située dans la plage $DMIN < L2 < D1$ et celui de l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente dont l'autonomie se situe dans la plage $3DMIN < L4 < D3 + 2DMIN$, l'aéronef placé en troisième

- position dans la file d'attente n'ayant pas de problème d'autonomie, son autonomie L_3 respectant la condition $D_1 + D_2 < L_3$, soit en cas d'un triple problème d'autonomie, celui de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente dont l'autonomie L_3 est située dans la plage $DMIN < L_2 < D_1$, celui de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente dont l'autonomie L_3 se situe dans la plage $2DMIN < L_3 < D_1 + D_2$ et celui de l'aéronef placé en quatrième position dans la file d'attente dont l'autonomie L_4 se situe dans la plage $3DMIN < L_4 < D_3 + 2DMIN$, et
- une catégorie 64 qui correspond à des cas insolubles, l'un au moins des aéronefs placé en troisième ou en quatrième position dans la file d'attente de ravitaillement ne pouvant attendre la durée des premiers passages de ravitaillement des aéronefs qui les précèdent dans la file d'attente.

Comme précédemment, dans le cas d'une flottille composée de trois aéronefs, le regroupement par catégories des solutions de fractionnement que les tableaux des figures 7a et 7b montrent, rend possible une méthode de recherche accélérée de la solution de fractionnement ou non des ravitaillements d'une flottille de quatre aéronefs permettant de résoudre d'éventuels problèmes d'autonomie avec un minimum de passage à la perche de ravitaillement. Cette méthode de recherche accélérée est déduite de la méthode générale précédemment décrite et fait appel à une technique de sélection par éliminations successives, de la solution la plus adaptée.

Cette recherche accélérée commence par le test de viabilité du cas singulier 50 d'absence de fractionnement de ravitaillement, envisagé au début de la méthode générale décrite précédemment. L'absence de fractionnement des ravitaillements est retenu et la recherche arrêtée lorsque les aéronefs placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente de ravitaillement peuvent attendre leur tour, c'est-à-dire lorsque les conditions : $D_1 < L_2$, $D_1 + D_2 < L_3$ et $D_1 + D_2 + D_3 < L_4$ sont remplies. Autrement, le cas singulier 50 est rejeté et la recherche est poursuivie.

Lorsque le cas 50 d'absence de fractionnement de ravitaillement ne convient pas, c'est qu'il se pose un ou plusieurs problèmes d'autonomie.

On recherche alors si ces problèmes d'autonomie sont résolubles par des fractionnements des ravitaillements des aéronefs placés en amont dans la file d'attente en envisageant les catégories 58 et 64 rassemblant les situations d'impossibilité. L'appartenance à ces catégories 58 et 64 d'impossibilité se manifeste par le non respect de l'une des conditions

5 $DMIN < L2$ ou $2DMIN < L3$ ou $3DMIN < L4$. Si l'une de ces conditions n'est pas remplie, la recherche est arrêtée car vouée à l'échec.

Si ces conditions sont respectées, le ou les problèmes d'autonomie qui ont conduit à l'élimination du cas singulier 50 sont résolubles

10 par un ou plusieurs fractionnements des ravitaillements. La recherche se poursuit alors pour trouver le ou les fractionnements de ravitaillement conduisant à un minimum de passages à la perche de ravitaillement tout en éludant les problèmes d'autonomie.

Le cas 51 du seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef

15 placé en troisième dans la file d'attente est alors envisagé. Il est retenu et la recherche arrêtée en cas de respects simultanés des conditions $D1 < L2$, $D1 + D2 < L3$ et $D1 + D2 + DMIN < L4$. Si non il est rejeté à son tour et la recherche est poursuivie.

Lorsque les deux cas singuliers 50 et 51 ont été éliminés, la

20 catégorie 52 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par le seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente est envisagée. Compte tenu des éliminations préalables des deux cas singuliers 50 et 51, les seules conditions à vérifier pour la sélection de cette catégorie 52 sont les conditions $D1 < L2$,

25 $D1 + DMIN < L3$ et $D1 + D3 + DMIN < L4$. Si ces conditions sont toutes vérifiées, le seul fractionnement du ravitaillement du deuxième aéronef de la file d'attente est retenu et la recherche arrêtée. Si non la catégorie 52 est rejetée à son tour et la recherche poursuivie.

Lorsque la catégorie 52 a été éliminée, les catégories 53 et 60

30 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par le seul fractionnement du ravitaillement de l'aéronef placé en tête de la file d'attente sont envisagées. Compte tenu des éliminations préalables des deux cas singuliers 50, 51 et de la catégorie 52, les seules conditions à vérifier pour la sélection de ces catégories sont les conditions $D2 + DMIN < L3$

35 et $D3 + D2 + DMIN < L4$. Si ces conditions sont vérifiées, le seul fractionnement

du ravitaillement de l'aéronef placé en premier dans la file d'attente est retenu et la recherche arrêtée. Si non les catégories 53 et 60 sont rejetées à leurs tours et la recherche poursuivie.

5 Lorsque les catégories 53 et 60 ont été éliminées, la catégorie 54 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par les fractionnements des seuls aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente est envisagée. Compte tenu des éliminations préalables des deux cas singuliers et de la catégorie 52, les seules conditions à vérifier pour la sélection de cette catégorie sont les conditions
10 $D1 < L2$, $D1 + DMIN < L3$ et $D1 + 2DMIN < L4$. Si ces conditions sont toutes vérifiées, les fractionnements des ravitaillements des seuls aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente sont retenus et la recherche arrêtée. Si non, la catégorie 54 est rejetée à son tour et la recherche poursuivie.

15 Lorsque la catégorie 54 a été éliminée, les catégories 55 et 61 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par les fractionnements des ravitaillements des seuls aéronefs placés en première et troisième positions de la file d'attente sont envisagées. Compte tenu des éliminations préalables des deux cas singuliers 50, 51 et des catégories 52,
20 53, 54, 60, les seules conditions à vérifier pour la sélection de ces catégories sont les conditions $D2 + DMIN < L3$ et $D2 + 2DMIN < L4$. Si ces conditions sont vérifiées, les fractionnements des ravitaillements des seuls aéronefs placés en première et troisième positions de la file d'attente sont retenus et la recherche arrêtée. Si non les catégories 55 et 61 sont rejetées à leurs tours
25 et la recherche poursuivie.

Lorsque les catégories 55 et 61 ont été éliminées, les catégories 56 et 62 correspondant aux différents cas de manque d'autonomie résolubles par les fractionnements des ravitaillements des seuls aéronefs placés en première et deuxième positions de la file d'attente sont envisagées. Compte
30 tenu des éliminations préalables des deux cas singuliers 50, 51 et des catégories 52, 53, 54, 55, 60, 61, la seule condition à vérifier pour la sélection de ces catégories est la condition $D3 + 2DMIN < L4$. Si cette condition est vérifiée, les fractionnements des ravitaillements des seuls aéronefs placés en première et deuxième positions de la file d'attente sont retenus et

la recherche arrêtée. Si non les catégories 56 et 62 sont rejetées à leurs tours et la recherche poursuivie.

Lorsque les catégories 56 et 62 ont été éliminées car ne convenant pas, il ne reste plus que les catégories 57 et 63 correspondant
5 aux fractionnements des ravitaillements des avions placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente. Ces fractionnements sont adoptés puisqu'il a été vérifié en début de recherche que les problèmes d'autonomie étaient résolubles et que les fractionnements des ravitaillements de tous les avions autres que celui placé en queue de file d'attente
10 constituent la solution ultime.

Comme précédemment, lorsqu'un ou plusieurs fractionnements des ravitaillements ont été retenus, les durées des premiers passages à la perche de ravitaillement sont maximisées tout en veillant au respect des
15 autonomies des avions.

Ainsi, dans le cas du seul fractionnement du ravitaillement de l'avion placé en troisième dans la file d'attente, le premier passage D31 à la perche de ravitaillement de l'avion en troisième position dans la file d'attente est allongé de DMIN à L4-D1-D2. Dans le cas du seul
20 fractionnement du ravitaillement placé en deuxième dans la file d'attente, le premier passage D21 à la perche de ravitaillement de l'avion en deuxième position dans la file d'attente est allongé de DMIN à min(L3-D1, L4-D1-D2). Dans le cas du seul fractionnement du ravitaillement placé en premier dans la file d'attente, le premier passage D11 à la perche de ravitaillement de
25 l'avion en première position dans la file d'attente est allongé de DMIN à min(L2, L3-D2, L4-D2-D3).

De même, dans le cas des fractionnements des ravitaillements de deux avions placés en troisième et deuxième positions dans la file d'attente, les premiers passages D31 et D21 à la perche de ravitaillement de
30 ces deux avions sont allongés de DMIN à une valeur DMAX telle que les conditions $D1+2DMAX < L4$ et $D1+DMAX < L3$. Dans le cas des fractionnements des ravitaillements de deux avions placés en troisième et première positions dans la file d'attente, les premiers passages D31 et D11 à la perche de ravitaillement de ces deux avions sont allongés de DMIN à
35 une valeur DMAX telle que les conditions $D2+2DMAX < L4$, $DMAX+D2 < L3$ et

D_{MAX}<L₂. Dans le cas des fractionnements des ravitaillements de deux avions placés en deuxième et première positions dans la file d'attente, les premiers passages D₂₁ et D₁₁ à la perche de ravitaillement de ces deux avions sont allongés de D_{MIN} à une valeur D_{MAX} telle que les conditions

5 D₃+2D_{MAX}<L₄, 2D_{MAX}<L₃ et D_{MAX}<L₂.

De même, dans le cas des fractionnements des ravitaillements des trois avions placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente, leurs premiers passages D₃₁, D₂₁ et D₁₁ à la perche de ravitaillement sont allongés de D_{MIN} à une valeur D_{MAX} telle que les

10 conditions 3D_{MAX}<L₄, 2D_{MAX}<L₃ et D_{MAX}<L₂.

Lorsque les ravitaillements de plusieurs avions sont fractionnés, la recherche de la valeur commune maximum pour leurs premiers passages D_{MAX} peut se faire par itérations, en partant de la valeur D_{MIN} et en lui ajoutant de façon répétitive un incrément INC jusqu'à parvenir au non

15 respect de l'une des conditions imposées par les autonomies des avions.

Le procédé de gestion de ravitaillement en vol qui vient d'être décrit peut facilement être étendu aux ravitaillements de flottille composées de plus de quatre avions, l'augmentation du nombre d'avions de la

20 flottille ne faisant qu'augmenter les possibilités de fractionnements des ravitaillements.

Une fois établi l'ordre de ravitaillement des avions de la flottille et repérés les avions dont les ravitaillements doivent être fractionnés, les

25 temps et distances de ravitaillement pour les quantités de carburant demandées peuvent être évalués avec précision. Il est alors possible d'estimer les quantités de carburant dont disposeront effectivement les avions de la flottille en fin de l'opération de ravitaillement et d'ajuster les quantités de carburants transférées aux avions pour que ces quantités

30 estimées correspondent aux quantités voulues. Cet ajustement, qui a des conséquences sur les temps et distances de ravitaillement peut se faire de manière itérative, jusqu'à parvenir à des écarts acceptables entre les demandes et les estimations des quantités de carburant mises à disposition.

REVENDICATIONS

1. Procédé de gestion du ravitaillement en vol d'une flottille (1) de
5 n aéronefs A1,..., An à partir d'une même perche de ravitaillement d'un
aéronef ravitailleur (2), permettant l'élaboration d'une séquence de
ravitaillement à partir de la prise en compte d'un point de rendez-vous de
ravitaillement P, du nombre n d'aéronefs de la flottille (1), des quantités de
carburant Q1,...,Qn demandées par les aéronefs A1,...,An de la flottille (1) et
10 des distances maxima L1,...,Ln franchissables par chaque aéronef de la
flottille (1) dans l'attente d'un début de ravitaillement, ces distances maxima
L1,..., Ln correspondant aux distances séparant le point de rendez-vous de
ravitaillement P, sur la route suivie par l'aéronef ravitailleur (2), des points
limites atteignables par les différents aéronefs de la flottille (1) sans
15 ravitaillement et sans qu'ils puisent dans leurs réserves de sécurité de
carburant, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte les étapes
suivantes :
- prise en compte initiale d'une séquence arbitraire de ravitaillement
définie par une mise en file d'attente des aéronefs de la flottille (1)
20 selon un ordre arbitraire A1,..., An et un unique passage de
chaque aéronef de la flottille (1) à la perche de ravitaillement,
 - test de viabilité de la séquence de ravitaillement prise en compte
consistant à exprimer, en distances D1,..., Dn à parcourir par
l'aéronef ravitailleur (2), les temps nécessaires pour délivrer aux
25 aéronefs de la flottille (1) les quantités de carburant prévues lors
de leurs passages programmés à la perche de ravitaillement et à
vérifier, en descendant la file d'attente, que chaque aéronef autre
que celui en tête de la file d'attente, A2,..., An entamera son
ravitaillement dans les délais, c'est-à-dire avant que l'aéronef
30 ravitailleur (2) n'ait parcouru une distance supérieure à la distance
maximum franchissable L2,..., Ln par l'aéronef considéré,
 - en l'absence de constat d'aéronef entamant son ravitaillement
hors délai, admettre la viabilité de la séquence de ravitaillement
testée et l'adopter,
 - 35 - en présence d'un constat d'aéronef entamant son ravitaillement
hors délai, modifier la séquence de ravitaillement testée pour

écourter l'attente de cet aéronef et tenter de le faire se ravitailler dans les délais, la modification de la séquence consistant à fractionner en deux passages, le ou les ravitaillements d'un ou plusieurs aéronefs qui précèdent dans la file d'attente l'aéronef concerné, un premier passage écourté à la perche de ravitaillement permettant à un aéronef de recevoir une quantité minimum de carburant augmentant suffisamment son autonomie pour qu'il puisse se replacer à la fin de la file d'attente et attendre un deuxième passage à la perche de ravitaillement pour un complément de carburant sans pour autant puiser dans sa réserve de carburant de sécurité, le ou les aéronefs dont le ravitaillement est fractionné en deux étant choisis de manière à minimiser le nombre de passages à la perche de ravitaillement, le choix portant d'abord sur l'aéronef, s'il existe, qui est placé en amont dans la file d'attente et dont le fractionnement du ravitaillement en deux passages à la perche de ravitaillement permet d'approcher au mieux, par valeur supérieure, le gain de temps recherché, puis sur deux aéronefs, s'ils existent, placés en amont dans la file d'attente dont les fractionnements des ravitaillements permettent d'approcher au mieux, par valeur supérieure le gain de temps recherché et ainsi de suite, une absence de solution dans le choix des aéronefs à ravitaillement fractionné conduisant à un constat d'impossibilité de ravitaillement de la flottille complète, tandis qu'une présence de solution conduit à une proposition de séquence de ravitaillement modifiée, et

- prendre en compte toute proposition de séquence de ravitaillement modifiée et tester sa viabilité en repartant à la deuxième étape du procédé.

30

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une étape supplémentaire, en cas de test de viabilité négatif de la séquence de ravitaillement arbitraire prise en compte initialement, cette étape consistant à remplacer ladite séquence arbitraire de ravitaillement par une séquence de ravitaillement dite nominale, définie par un ordre de file

35

d'attente correspondant à des quantités décroissantes de carburant demandées et par un unique passage de chaque aéronef de la flottille (1) à la perche de ravitaillement, l'aéronef placé en tête de la file d'attente étant celui ayant demandé la quantité de carburant la plus importante.

5

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une étape supplémentaire, en cas de test de viabilité négatif de la séquence de ravitaillement arbitraire prise en compte initialement, cette étape consistant à remplacer ladite séquence arbitraire de ravitaillement par une séquence de ravitaillement, définie par un ordre de file d'attente correspondant à des distances maxima franchissables L_1, L_2, \dots, L_n croissantes et par un unique passage de chaque aéronef de la flottille (1) à la perche de ravitaillement, l'aéronef placé en tête de la file d'attente étant celui ayant la distance maximum franchissable la plus faible.

15

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, en cas d'un test négatif de viabilité d'une séquence de ravitaillement dû au constat d'un aéronef de la flottille (1) entamant son ravitaillement hors délai, le choix du ou des aéronefs placés en amont dans la file d'attente dont le ravitaillement est fractionné, résulte d'essais virtuels systématiques pratiqués en remontant la file d'attente en prenant en compte un aéronef, puis deux dont celui procurant le gain de temps le plus important, puis trois dont les deux procurant le gain de temps le plus important et ainsi de suite.

25

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la durée d'un premier passage écourté à la perche de ravitaillement, d'un ravitaillement fractionné est fixée à une même valeur DMIN pour tous les aéronefs de la flottille (1), valeur qui est progressivement augmentée, une fois que la séquence de ravitaillement a satisfait au test de viabilité, jusqu'à parvenir en limite d'autonomie pour l'un des aéronefs de la flottille (1).

30

6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le choix des aéronefs de la flottille (1) dont le ravitaillement est fractionné résulte de la vérification du respect d'une succession de relations d'inégalité entre les distances de parcours D_1, \dots, D_n nécessaires à l'aéronef ravitailleur

35

(2) pour délivrer les quantités de carburant demandées au cours de chaque passage des aéronefs de la flottille (1) à la perche de ravitaillement et les distances maxima L_1 , L_2 , ..., L_n franchissables par chaque aéronef de la flottille (1).

5

7. Procédé selon la revendication 1, appliqué à une flottille de deux aéronefs, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- admettre un ordre de file d'attente arbitraire pour les deux aéronefs de la flottille,
- 10 - vérifier si la distance maximum L_2 franchissable par l'aéronef en deuxième position dans la file d'attente de ravitaillement est supérieure à la durée, exprimée en distance franchissable D_1 , nécessaire au ravitaillement en un passage à la perche de ravitaillement, de l'aéronef placé en première position dans la file
15 d'attente
- si c'est le cas, la condition $D_1 < L_2$ étant satisfaite, adopter la séquence de ravitaillement D_1 , D_2 , avec un seul passage par aéronef ravitaillé et
- si ce n'est pas le cas, la condition $D_1 < L_2$ n'étant pas satisfaite,
20 vérifier que la distance maximum L_2 franchissable par l'aéronef placé en deuxième dans la file d'attente est supérieure à la durée minimum, exprimée en distance franchissable $DMIN$, d'un passage à la perche de ravitaillement,
- si ce n'est pas le cas, la condition $DMIN < L_2$ n'étant pas
25 satisfaite, signaler l'impossibilité du ravitaillement avec l'ordre de file d'attente adopté, et
- si c'est le cas, la condition $D_1 < L_2$ étant satisfaite, adopter la séquence de ravitaillement D_{11} , D_2 , D_{12} avec un fractionnement en deux passages, du ravitaillement de
30 l'aéronef en tête de file d'attente.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la durée du premier passage D_{11} de ravitaillement de l'aéronef en première position dans la file d'attente est prise égale à la distance maximum L_2
35 franchissable par l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente.

9. Procédé selon la revendication 1, appliqué à une flottille de trois aéronefs, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- 5 - admettre un ordre de file d'attente de ravitaillement pour les trois aéronefs de la flottille correspondant à des quantités décroissantes de carburant demandées,
- 10 - vérifier si les distances maxima L2 et L3 franchissables par les aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente sont supérieures aux durées D1, D1+D2, exprimées en distances franchissables, des ravitaillements en un passage à la perche de ravitaillement, du ou des aéronefs placés devant dans la file d'attente,
- 15 - si c'est le cas, les conditions $D1 < L2$ et $D1 + D2 < L3$ étant satisfaites, adopter la séquence de ravitaillement D1, D2, D3 avec un seul passage à la perche de ravitaillement par aéronef ravitaillé,
- 20 - si ce n'est pas le cas, l'une au moins des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + D2 < L3$ n'étant pas satisfaite, vérifier que les distances maxima L2, L3 franchissables par les aéronefs n'occupant pas la tête de la file d'attente sont supérieures aux durées minima, exprimées en distance franchissable DMIN, d'un passage à la perche de ravitaillement de chacun des aéronefs placés devant dans la file d'attente,
- 25 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $DMIN < L2$ ou $2DMIN < L3$ n'étant pas satisfaite, signaler l'impossibilité du ravitaillement avec l'ordre de file d'attente adopté,
- 30 - si c'est le cas, les deux conditions $DMIN < L2$ et $2DMIN < L3$ étant satisfaites, rechercher le ou les ravitaillements dont les fractionnements conduisent à une séquence de ravitaillement permettant de commencer les ravitaillements de tous les aéronefs de la flottille avant qu'ils n'aient parcouru leurs distances maxima franchissables tout en ne comportant qu'un nombre minimum de passages à la perche de ravitaillement,
- 35 ladite recherche du ou des ravitaillements à fractionner pour parvenir à commencer les ravitaillements des aéronefs avant qu'ils n'aient parcouru

leurs distances maxima franchissables comportant les étapes successives suivantes :

- vérifier si les conditions $D1 < L2$ et $D1 + DMIN < L3$ sont remplies,
- si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D1, D21, D3, D22 avec un unique fractionnement en deux passages; du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente,
- si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + DMIN < L3$ n'étant pas remplie, vérifier si la condition $D2 + DMIN < L3$ est remplie,
- si la condition $D2 + DMIN < L3$ est remplie, adopter la séquence de ravitaillement D11, D2, D3, D12 avec un unique fractionnement en deux passages du ravitaillement de l'aéronef en tête de file d'attente, et
- si la condition $D2 + DMIN < L3$ n'est pas remplie, adopter la séquence de ravitaillement D11, D21, D3, D12, D22 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente.

20

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D1, D21, D3, D22 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef en deuxième position dans la file d'attente, la durée du premier passage du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente, exprimée en distance D21, est prise égale à la distance maximum L3 franchissable par l'aéronef placé en queue de file d'attente, diminuée de la distance D1 nécessaire au ravitaillement en un passage de l'aéronef placé en tête de file d'attente :

30

$$D21 = L3 - D1$$

la durée du deuxième passage du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente exprimée en distance D22 étant prise égale à la durée nécessaire pour que la quantité de carburant transférée au total atteigne la quantité demandée :

35

$$D22 = D2 - D21$$

11. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D2, D3, D12 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef en première position dans la file d'attente, la durée du premier passage du ravitaillement de l'aéronef placé en première position dans la file d'attente, exprimée en distance D11, est prise égale au minimum de la distance maximum L2 franchissable par l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente et de la distance maximum L3 franchissable par l'aéronef placé en troisième position de la file d'attente diminuée de la distance D2 nécessaire au ravitaillement en un passage de l'aéronef placé en deuxième position de file d'attente :

$$D11 = \min(L2, L3 - D2)$$

la durée du deuxième passage du ravitaillement de l'aéronef placé en première position dans la file d'attente exprimée en distance D12 étant prise égale à la durée nécessaire pour que la quantité de carburant transférée au total atteigne la quantité demandée :

$$D12 = D1 - D11$$

12. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D21, D3, D12, D22 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, les durées des premiers passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D11, D21 sont prises égales à la durée DMIN augmentée itérativement d'un incrément INC jusqu'à parvenir en limite du respect des conditions $D11 < L2$ et $D11 + D21 < L3$ imposées par les autonomies des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente, les durées des deuxième passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D12, D22 étant prises égales aux durées nécessaires pour que les quantités de carburant transférées au total atteignent les quantités demandées :

$$D12 = D1 - D11 \text{ et } D22 = D2 - D21$$

13. Procédé selon la revendication 1, appliqué à une flottille de quatre aéronefs, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- 5 - admettre un ordre de file d'attente de ravitaillement pour les quatre aéronefs de la flottille correspondant à des quantités décroissantes de carburant demandées,
- 10 - vérifier si les distances maxima L_2 , L_3 et L_4 franchissables par les aéronefs placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente sont supérieures aux durées D_1 , D_1+D_2 , $D_1+D_2+D_3$ exprimées en distances franchissables, des ravitaillements en un passage à la perche de ravitaillement, du ou des aéronefs placés devant dans la file d'attente,
- si c'est le cas, les conditions $D_1 < L_2$, $D_1+D_2 < L_3$ et $D_1+D_2+D_3 < L_4$ étant satisfaites, adopter la séquence de ravitaillement D_1 , D_2 , D_3 , D_4 avec un seul passage par aéronef ravitaillé,
- 15 - si ce n'est pas le cas, l'une au moins des conditions $D_1 < L_2$ ou $D_1+D_2 < L_3$ ou $D_1+D_2+D_3 < L_4$ n'étant pas satisfaite, vérifier que les distances maxima L_2 , L_3 , L_4 franchissables par les aéronefs n'occupant pas la tête de la file d'attente sont supérieures aux durées minima, exprimées en distance franchissable $DMIN$, d'un passage à la perche de ravitaillement de chacun des aéronefs placés devant dans la file d'attente,
- 20 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $DMIN < L_2$ ou $2DMIN < L_3$ ou $3DMIN < L_4$ n'étant pas satisfaite, signaler l'impossibilité du ravitaillement avec l'ordre de file d'attente adopté,
- 25 - si c'est le cas, les trois conditions $DMIN < L_2$, $2DMIN < L_3$ et $3DMIN < L_4$ étant satisfaites, rechercher le ou les ravitaillements dont les fractionnements conduisent à une séquence de ravitaillement permettant de commencer les ravitaillements de tous les aéronefs de la flottille avant qu'ils n'aient parcouru leurs distances maxima franchissables tout en ne comportant qu'un nombre minimum de passages à la perche de ravitaillement,
- 30

ladite recherche du ou des ravitaillements à fractionner pour parvenir à commencer les ravitaillements des aéronefs avant qu'ils n'aient parcouru

leurs distances maxima franchissables comportant les étapes successives suivantes :

- vérifier si les conditions $D1 < L2$ et $D1 + D2 < L3$ et $D1 + D2 + DMIN < L4$ sont remplies,
- 5 - si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D1, D2, D31, D4, D32 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente,
- 10 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + D2 < L3$ ou $D1 + D2 + Dmin < L4$ n'étant pas remplie, vérifier si les conditions $D1 < L2$, $D1 + DMIN < L3$ et $D1 + D3 + DMIN < L4$ sont remplies,
- 15 - si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D1, D21, D3, D4, D22 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente,
- 20 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + DMIN < L3$ ou $D1 + D3 + DMIN < L4$ n'étant pas remplie, vérifier si les conditions $D2 + DMIN < L3$ et $D2 + D3 + DMIN < L4$ sont remplies,
- 25 - si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D11, D2, D3, D12 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef placé en première position dans la file d'attente,
- 30 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D2 + DMIN < L3$ ou $D2 + D3 + DMIN < L4$ n'étant pas remplie, vérifier si les conditions $D1 < L2$, $D1 + DMIN < L3$ et $D1 + 2DMIN < L4$ sont remplies,
- 30 - si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D1, D21, D31, D4, D22, D32 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente,
- 30 - si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D1 < L2$ ou $D1 + DMIN < L3$ ou $D1 + 2DMIN < L4$ n'étant pas remplie, vérifier si les conditions $D2 + DMIN < L3$ et $D2 + 2DMIN < L4$ sont remplies,
- 30 - si c'est le cas, adopter la séquence de ravitaillement D11, D2, D31, D4, D12, D32 avec des fractionnements en deux passages,

des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente,

- si ce n'est pas le cas, l'une des conditions $D2+DMIN < L3$ ou $D2+2DMIN < L4$ n'étant pas remplie, vérifier si la condition $D3+2DMIN < L4$ est remplie,
- si la condition $D3+2DMIN < L4$ est remplie, adopter la séquence de ravitaillement D11, D21, D3, D4, D12, D22 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente,
- si la condition $D3+2DMIN < L4$ n'est pas remplie, adopter la séquence de ravitaillement D11, D21, D31, D4, D12, D22, D31 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D1, D2, D31, D4, D32 avec un unique fractionnement en deux passages, du ravitaillement de l'aéronef en troisième position dans la file d'attente, la durée du premier passage du ravitaillement de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente, exprimée en distance D31, est prise égale à la distance maximum L4 franchissable par l'aéronef placé en queue de file d'attente, diminuée des distances D1 et D2 nécessaires au ravitaillement en un passage des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente :

$$D31 = L4 - D1 - D2$$

la durée du deuxième passage du ravitaillement de l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente, exprimée en distance D32, étant prise égale à la durée nécessaire pour que la quantité de carburant transférée au total atteigne la quantité demandée :

$$D32 = D3 - D31$$

15. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D1, D21,

D3, D4, D22 avec un unique fractionnement en deux passages du ravitaillement de l'aéronef en deuxième position dans la file d'attente, la durée du premier passage du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente, exprimée en distance D21, est prise égale au minimum de la distance maximum L4 franchissable par l'aéronef placé en queue de file d'attente, diminuée des distances D1 et D3 nécessaires aux ravitaillements en un passage, des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, et de la distance maximum L3 franchissable par l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente, diminuée de la distance D1 nécessaire au ravitaillement en un passage, de l'aéronef placé en tête de file d'attente :

$$D21 = \min(L3 - D1, L4 - D1 - D3)$$

la durée du deuxième passage du ravitaillement de l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente, exprimée en distance D22, étant prise égale à la durée nécessaire pour que la quantité de carburant transférée au total atteigne la quantité demandée :

$$D22 = D2 - D21$$

16. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D2, D3, D4, D12 avec un unique fractionnement en deux passages du ravitaillement de l'aéronef en première position dans la file d'attente, la durée du premier passage du ravitaillement de l'aéronef placé en première position dans la file d'attente, exprimée en distance D11, est prise égale au minimum de la distance maximum L2 franchissable par l'aéronef placé en deuxième position dans la file d'attente, de la distance maximum L4 franchissable par l'aéronef placé en queue de file d'attente, diminuée des distances D2 et D3 nécessaires aux ravitaillements en un passage des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente, et de la distance maximum L3 franchissable par l'aéronef placé en troisième position dans la file d'attente, diminuée de la distance D2 nécessaire au ravitaillement en un passage de l'aéronef placé en deuxième position de la file d'attente :

$$D11 = \min(L2, L3 - D2, L4 - D2 - D3)$$

la durée du deuxième passage du ravitaillement de l'aéronef placé en première position dans la file d'attente, exprimée en distance D12, étant prise

égale à la durée nécessaire pour que la quantité de carburant transférée au total atteigne la quantité demandée :

$$D12=D1-D11$$

- 5 17. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D1, D21, D31, D4, D22, D32 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente, les durées des premiers passages des ravitaillements des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D21, D31 sont prises égales à la durée DMIN augmentée itérativement d'un incrément INC jusqu'à parvenir en limite du respect des conditions $D1+D21 < L3$ et $D1+D21+D31 < L4$ imposées par les autonomies des aéronefs placés en troisième et quatrième positions dans la file d'attente, les durées des deuxièmes passages des ravitaillements des aéronefs placés en deuxième et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D22, D32 étant prises égales aux durées nécessaires pour que les quantités de carburant transférées au total atteignent les quantités demandées :

20 $D22=D2-D21$ et $D32=D3-D31$

- 25 18. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D2, D31, D4, D12, D32 avec des fractionnements en deux passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, les durées des premiers passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D11, D31 sont prises égales à la durée DMIN augmentée itérativement d'un incrément INC jusqu'à parvenir en limite du respect des conditions $D11 < L2$, $D11+D2 < L3$ et $D11+D2+D31 < L4$ imposées par les autonomies des aéronefs placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente, les durées des deuxièmes passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D12, D32 étant prises égales aux

durées nécessaires pour que les quantités de carburant transférées au total atteignent les quantités demandées :

$$D12=D1-D11 \text{ et } D32=D3-D31$$

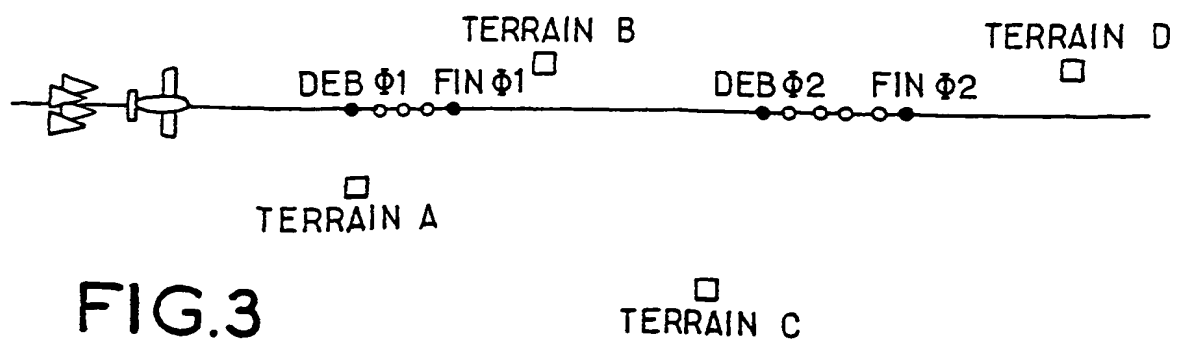
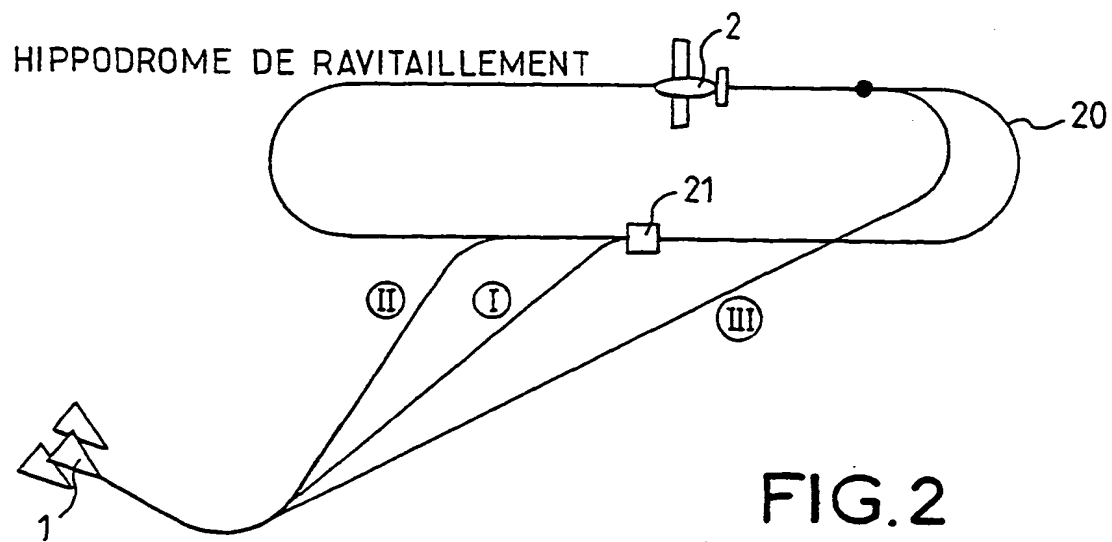
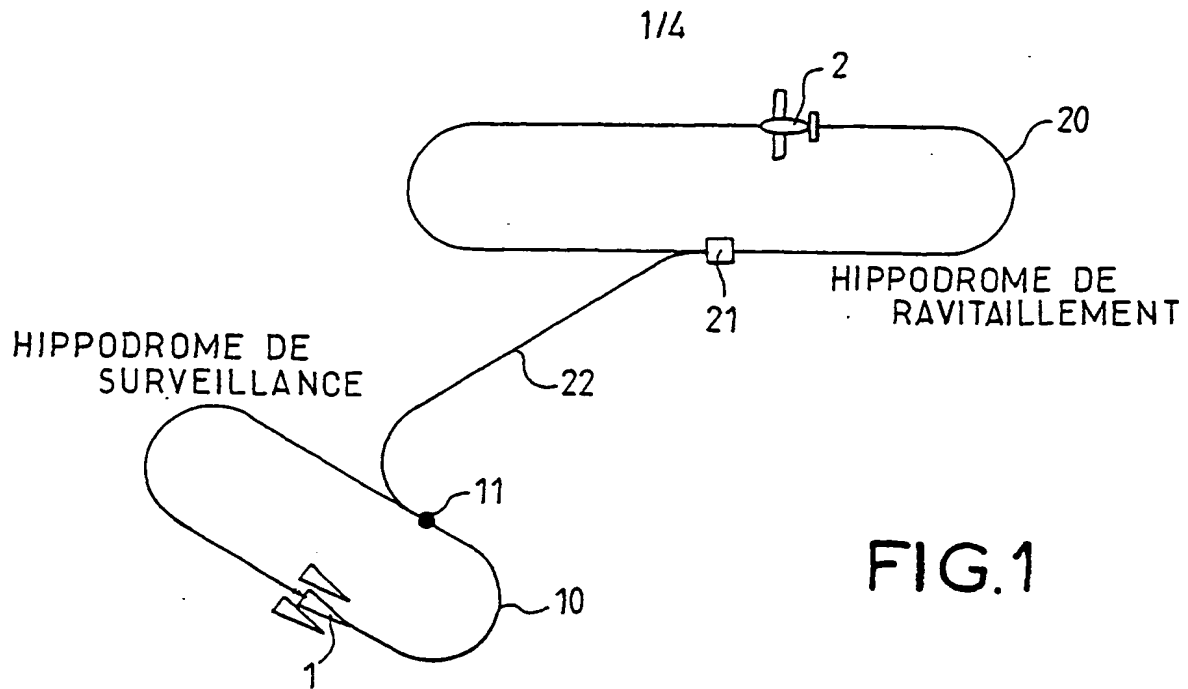
- 5 19. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D21, D3, D4, D12, D22 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, les durées des premiers passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et deuxième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D11, D21 sont prises égales à la durée DMIN augmentée itérativement d'un incrément INC jusqu'à parvenir en limite du respect des conditions $D11 < L2$, $D11 + D21 < L3$ et $D11 + D21 + D3 < L4$ imposées par les autonomies des aéronefs placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente, les durées des deuxièmes passages des ravitaillements des aéronefs placés en première et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D12, D32 étant prises égales aux durées nécessaires pour que les quantités de carburant transférées au total atteignent les quantités demandées :

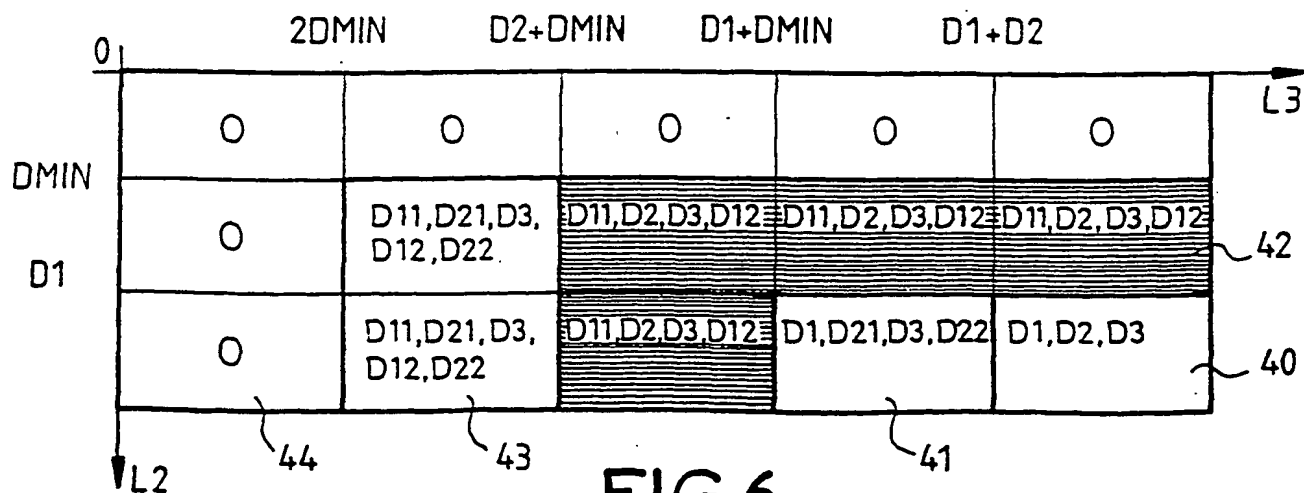
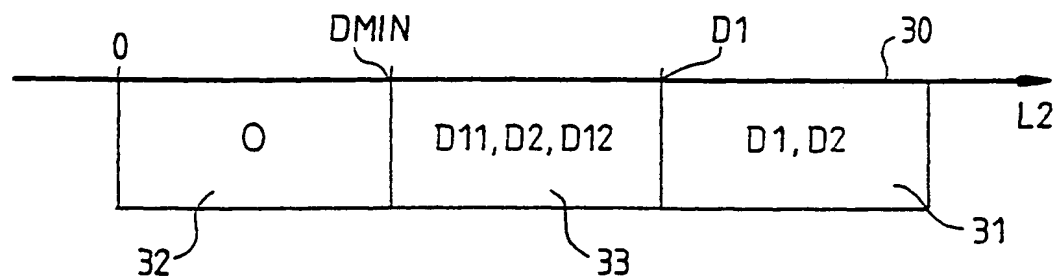
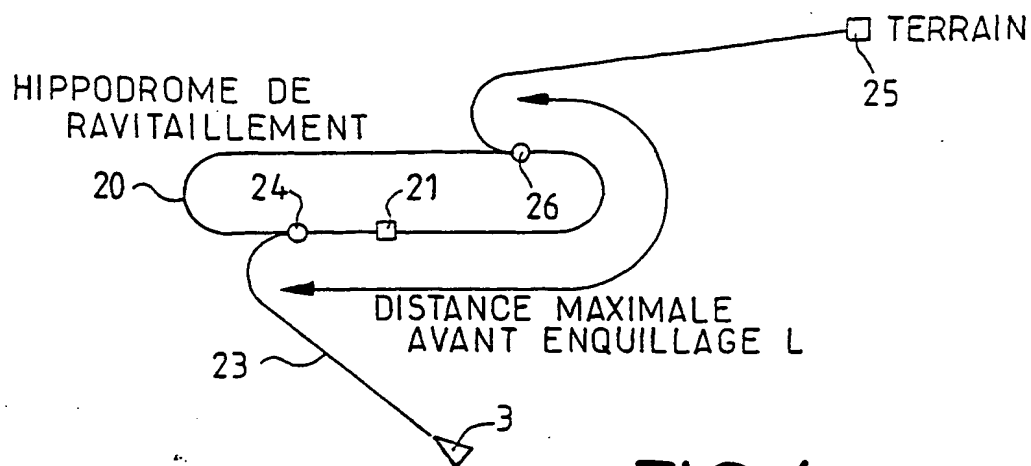
20 $D12=D1-D11 \text{ et } D22=D2-D21$

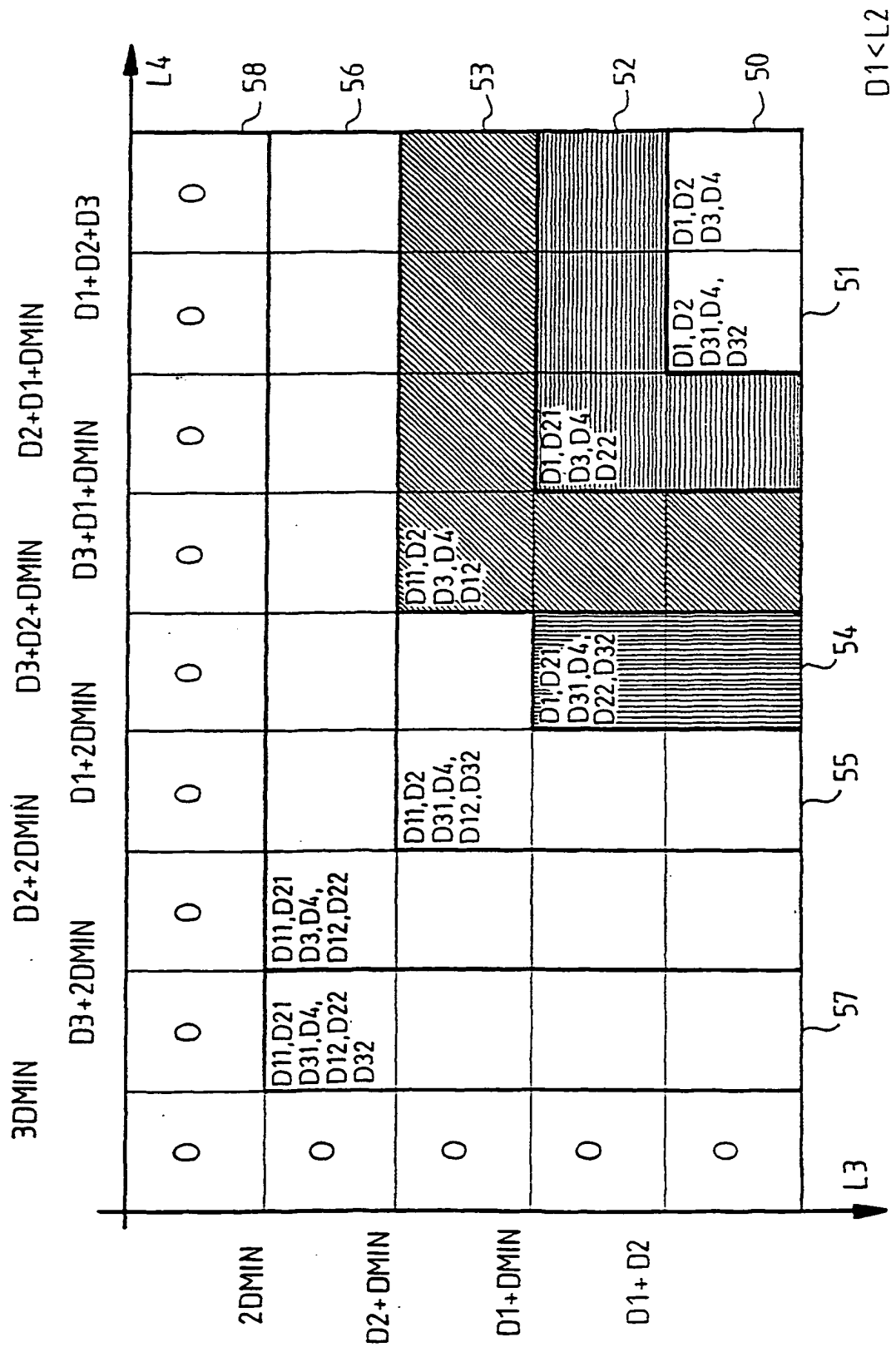
20. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que, lors d'un aboutissement à la sélection de la séquence de ravitaillement D11, D21, D31, D4, D12, D21, D32 avec des fractionnements en deux passages, des ravitaillements des aéronefs placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente, les durées des premiers passages des ravitaillements des aéronefs placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D11, D21, D31 sont prises égales à la durée DMIN augmentée itérativement d'un incrément INC jusqu'à parvenir en limite du respect des conditions $D11 < L2$, $D11 + D21 < L3$ et $D11 + D21 + D31 < L4$ imposées par les autonomies des aéronefs placés en deuxième, troisième et quatrième positions dans la file d'attente, les durées des deuxièmes passages des ravitaillements des aéronefs placés en première, deuxième et troisième positions dans la file d'attente, exprimées en distance D12, D22, D32 étant prises égales aux durées nécessaires pour

que les quantités de carburant transférées au total atteignent les quantités demandées :

$$D12=D1-D11, D22=D2-D21 \text{ et } D32=D3-D31$$







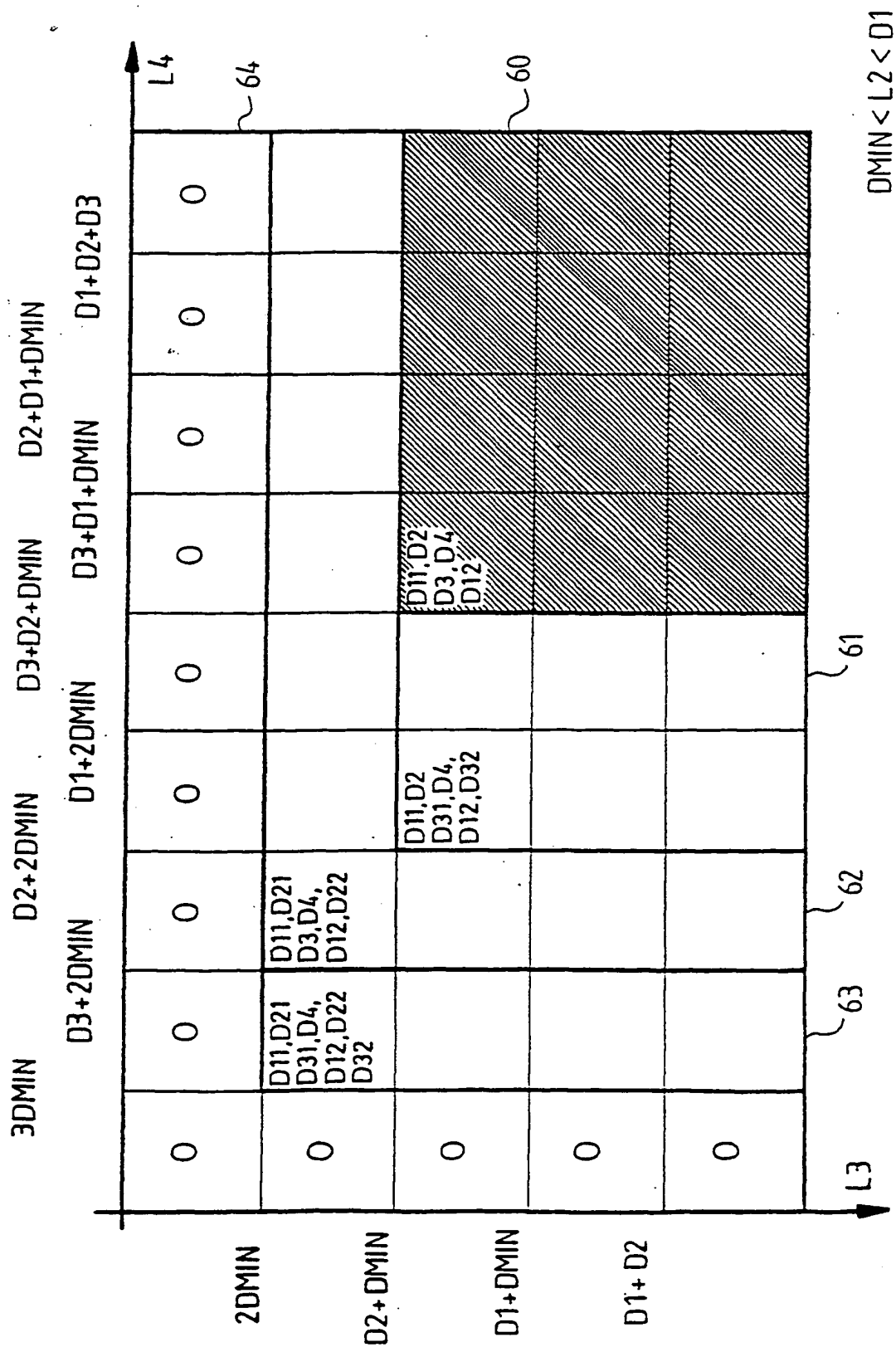


FIG. 7b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR 02/01893A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 608G5/00 B64D39/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 608G B64D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01 02875 A (LOCKHEED CORP) 11 January 2001 (2001-01-11) page 12, line 20 -page 14, line 28	1-20
A	DE 32 02 138 A (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM) 28 July 1983 (1983-07-28) figure 1	1-20
A	US 4 763 861 A (NEWMAN FRANK J) 16 August 1988 (1988-08-16)	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 October 2002

Date of mailing of the international search report

21/10/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Créchet, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR 02/01893

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 0102875	A	11-01-2001	AU	1186301 A		22-01-2001
			WO	0102875 A2		11-01-2001
DE 3202138	A	28-07-1983	DE	3202138 A1		28-07-1983
US 4763861	A	16-08-1988	AU	600963 B2		30-08-1990
			AU	7625787 A		02-02-1989
			EP	0301126 A1		01-02-1989

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demander nationale No
PCT/FR 02/01893

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G08G5/00 B64D39/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G08G B64D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 01 02875 A (LOCKHEED CORP) 11 janvier 2001 (2001-01-11) page 12, ligne 20 -page 14, ligne 28	1-20
A	DE 32 02 138 A (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM) 28 juillet 1983 (1983-07-28) figure 1	1-20
A	US 4 763 861 A (NEWMAN FRANK J) 16 août 1988 (1988-08-16)	

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *G* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

11 octobre 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/10/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Créchet, P

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 02/01893

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
WO 0102875	A	11-01-2001	AU	1186301 A	22-01-2001
			WO	0102875 A2	11-01-2001
DE 3202138	A	28-07-1983	DE	3202138 A1	28-07-1983
US 4763861	A	16-08-1988	AU	600963 B2	30-08-1990
			AU	7625787 A	02-02-1989
			EP	0301126 A1	01-02-1989

This Page Blank (uspto)